

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**

Studijní program M2301 - Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

**Monitorování základních elektrických veličin u vybraných metod  
odporového svařování.**

**The monitoring of the basic electrical values of chosen methods of the  
resistance welding.**

Stanislav Jordán

**KSP – SM – 531**

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - *TU v Liberci*

**Rozsah práce a příloh:**

**Počet stran            69**

**Počet stran příloh   15**

**Počet obrázků        48**

**Počet tabulek        4**

**Datum: 19.5.2008**

# A N O T A C E

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství  
Diplomant: Stanislav Jordán  
Téma práce: Monitorování základních elektrických veličin u vybraných metod odporového svařování.  
The monitoring of the basic electrical values of chosen methods of the resistance welding.  
Číslo DP: KSP - SM - 531  
Vedoucí DP: Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - *TU v Liberci*  
Konzultant: Ing. Jaromír Moravec - *TU v Liberci*

### Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá realizací monitorovacího pracoviště, umožňujícího měření procesních veličin u odporového bodového svařování. V práci jsou uvedeny základní charakteristiky odporových metod svařování a jejich fyzikální podstaty a odlišnosti procesu u různých typů základních materiálů. Popisují se základní rušivé vlivy, které mají vliv na kvalitu bodových svarů, a metodické postupy hodnocení kvality spojů destruktivními i nedestruktivními metodami. Je proveden návrh tří variant pro měření procesních veličin u odporového bodového svařování. Funkčnost zařízení je ověřena při sledování vlivu rostoucího opotřebení elektrod na časové průběhy elektrických veličin svařovacího procesu a kvalitu svarů.

### Abstract:

The diploma thesis is concerned with a realization of monitoring system which enables to measure the sensor – based data of the resistance spot welding. There are the main characteristics of the spot welding methods mentioned in the thesis as well as their

physical principles and differences within the process depending on various kinds of basic materials. Fundamental disturbing effects, that influence the quality of spot welds, and methodical procedures of the evaluation of the quality of spot welds by destructive and nondestructive ways are described. The thesis offers a proposal of three alternatives for the measurement of sensor – based data of the resistance spot welding. The utility of the system is verified by monitoring of the effect of the growing abrasion of the electrodes on the time courses of electrical values of the welding process and on the quality of the welds.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 19. května 2008

.....

Stanislav Jordán

Vlčí vrch 673/30, Liberec 15, 460 15



Rád bych poděkoval doc. Ing. Heinzi Neumannovi, CSc. a Ing. Jaromíru Moravcovi za věcné návrhy, bez nichž by tato práce neměla podobu, jaké se jí dostalo.

## Obsah:

Obsah	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod	10
2. Odporové svařování	11
2.1 Bodové odporové svařování	12
2.1.1 Svařovací cyklus	13
2.1.2 Režimy při bodovém odporovém svařování	13
2.1.3 Teplo a odpory při bodovém odporovém svařování	14
2.1.4 Teplotní pole a deformace	15
2.2 Švové odporové svařování	18
2.3 Výstupkové svařování	19
2.4 Odtavovací stykové svařování	19
3. Zjištění kvality bodových svarů	21
3.1 Destruktivní zkoušky	21
3.2 Nedestruktivní zkoušky	25
3.3 Měření příčného řezu svaru	30
4. Chyby při bodovém odporovém svařování	32
4.1 Chyby obsluhy a seřízení strojů	33
4.2 Vliv nastavení svařovacího proudu	34
4.3 Vliv nastavení tlaku	35
4.4 Faktor času	35
5. Tepelně ovlivněná oblast	35
6. Elektrody	36
6.1 Velikost špiček elektrod	37
7. Vybrané materiály pro bodové odporové svařování	38
7.1 Svařování plechů z nízkouhlíkové ocele	38
7.2 Svařování plechů z nízkolegované ocele	38
7.3 Svařování plechů z vysokolegované ocele	38
7.4 Svařování plechů s kovovými povlaky	39
7.5 Svařování pozinkovaných vysokopevnostních plechů	39
8. Realizace systému monitorování a zpracování dat parametrů u odporových metod svařování	41

<b>8.1.1</b> Pracovní zařízení	..... 41
<b>8.1.2</b> Řešení pomocí operačního zesilovače	..... 46
<b>8.1.3</b> Řešení s využitím dvousvazkové sondy	..... 50
<b>9.1.4</b> Řešení pomocí multifunkčního měřiče	..... 51
<b>8.2</b> Materiál pro experiment	..... 55
<b>8.2</b> Změření procesních veličin a stanovení přepočtového koeficientu	..... 56
<b>9.</b> Vyhodnocení měření	..... 58
<b>9.1</b> Metalografický rozbor	..... 63
<b>10.</b> Závěr	..... 65
<b>11.</b> Seznam použité literatury	..... 67

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Q	množství vyvinutého tepla	[J]
R <sub>1</sub>	přechodový odpor mezi horní elektrodou a vrchním dílcem	[Ω]
R <sub>2</sub>	měrný elektrický odpor materiálu vrchního dílce	[Ω]
R <sub>3</sub>	přechodový odpor mezi vrchním a spodním dílcem	[Ω]
R <sub>4</sub>	měrný elektrický odpor materiálu spodního dílce	[Ω]
R <sub>5</sub>	přechodový odpor mezi dolní elektrodou a spodním dílcem	[Ω]
R <sub>c</sub>	celkový elektrický odpor (ΣR)	[Ω]
I	svařovací proud	[A]
t <sub>svař</sub>	svařovací čas	[s]
T	teplota	[K]
t	čas	[s]
dt	diferenciál času	[s]
a	součinitel teplotní vodivosti	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
q <sub>v</sub>	intenzita objemového zdroje tepla	[J.m <sup>-3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
r	poloměr elektrody	[mm]
c	měrné teplo	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
ρ	hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]
λ	vlnová délka vln	[nm]
v	rychlost šíření	[m.s <sup>-1</sup> ]
f	frekvence ultrazvukových vln	[MHz]
D	průměr elektrody	[mm]
t <sub>L</sub>	tloušťka plechu	[mm]
U <sub>0</sub>	výstupní napětí	[V]
U <sub>1</sub>	první vstupní napětí	[V]
U <sub>2</sub>	druhé vstupní napětí	[V]
R <sub>0</sub>	zpěťnovazební odpor	[Ω]
R <sub>1</sub>	vstupní odpor	[Ω]
I1-I3	poměrný výkon WBLP 40	[%]
R <sub>m</sub>	mez pevnosti	[MPa]
R <sub>c</sub>	mez kluzu	[MPa]
A	tažnost	[%]
p <sub>l</sub> , p <sub>u</sub>	průvar svarové čocky	[mm]

$d_{el}, d_{eu}$	průměry vtisku elektrod	[mm]
$d_n$	průměr čočky	[mm]
$e_l, e_u$	hloubka vtisku elektrody	[mm]
$x$	mezera mezi plechy (a – místo měření mezery)	[mm]
$t_l, t_u$	tloušťka materiálu	[mm]

## 1. Úvod

S bodovým odporovým svařováním se lze nejčastěji setkat v automobilovém průmyslu, který je v současnosti považován za druhé nejnáročnější strojní odvětví následující ihned po odvětví leteckém. Monitoring svařovacích parametrů přímo při procesu svařování je první kontrolou ke zjištění kvality svaru. Tento proces přispívá k udržení ekonomické efektivity a dodržení bezpečnostních standardů v dané kategorii výrobků.

Kvalita bodového svaru závisí také na vhodném nastavení svařovacích parametrů a při tomto nastavení musí být svar proveden za co nejkratší čas. Optimální nastavení svařovacích parametrů není stálé. Na jejich změně se podílí opotřebování elektrod, které mění tyto parametry, a tím i výslednou kvalitu bodového svaru. Zjišťování kvality svaru periodickou destruktivní zkouškou či nahodile může zapříčinit vytvoření několika méně kvalitních svarů, aniž je odhalíme včas. Kontrolovat každý svar ultrazvukem není možné, a proto se jeví kontrola svařovacích parametrů přímo při procesu jako nejideálnější.

Stanovení vhodných svařovacích parametrů přímo na konkrétním pracovišti je nejlepší volba k odstranění vzniklého problému. Simulování problému mimo pracoviště je možné, ale nemusí se zcela shodovat a také je časově náročné.

V automobilkách je zaměstnáno několik desítek odborníků v každém úseku. Podniky mají své vývojové týmy a odborníky v provozu, jejichž spolupráce je nezbytná pro dosažení kvality a efektivity. V zahraničí jsou technické university nedílnou součástí tohoto řetězce výzkumu, jsou zdrojem ověřených informací a nových myšlenek. V České republice se na tento trend znovu přichází a podniky získávají stejně kvalitní informace a řešení, jako podniky zahraniční.

Zpracováním diplomového tématu „Monitorování základních elektrických veličin u vybraných metod odporového svařování“ získá Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie, Oddělení strojírenské metalurgie mobilní monitorovací systém pro měření svařovacího proudu a napětí přímo na místě problému.

## 2. Odporové svařování

Dnes odporové svařování zaujímá nemalou část v celkovém použití svařovacích technologií. Nejčastěji se s ním setkáme v automobilovém průmyslu, kde je nejvíce kladen důraz na efektivitu a kvalitu, proto zdokonalování této technologie bude stále aktuálním problémem.

První pokusy s touto technologií byly prováděny na konci 19. století, kdy Thompson přišel s prvními patenty. K nejrychlejšímu zdokonalení pak došlo během obou světových válek.

Odporové svařování je tlakové svařování, při kterém se nezbytné teplo ke svařování vytváří elektrickým odporem při průchodu elektrického proudu v oblasti svařování. Tato definice je stanovena normou ČSN EN 14610 [17]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 14610.

Základní rozdělení metod odporového svařování je popsáno normou ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování [16]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN ISO 4063. Každá metoda je označena číslem, maximálně tři číslice viz. *tab. 2.1*.

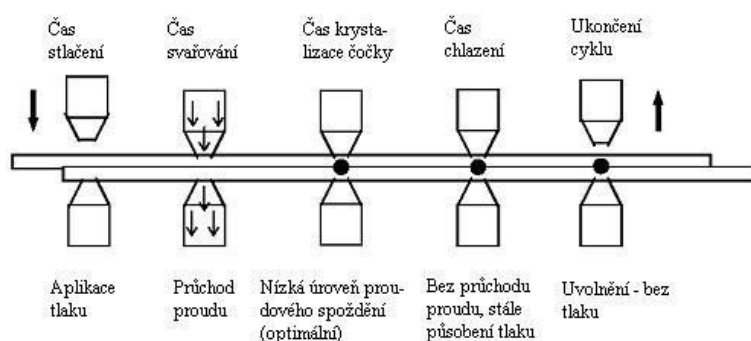
**tab. 2.1:** Přehled odporových metod a jejich číslování.

číslo metody	český název	anglický název
2	Odporové svařování	Resistance welding
21	Bodové odporové svařování	Spot welding
211	Nepřímé bodové svařování	Indirect spot welding
212	Přímé bodové svařování	Direct spot welding
22	Švové odporové svařování	Seam welding
221	Švové svařování s přeplátováním	Lap seam welding
222	Švové svařování s rozválcováním	Mash seam welding
225	Stykové švové svařování s páskem	Foil butt-seam welding
226	Přeplátované švové svařování s páskem	Seam welding with strip
23	Výstupkové svařování	Projection welding
231	Nepřímé výstupkové svařování	Indirect projection welding
232	Přímé výstupkové svařování	Direct projection welding

24	Odtavovací stykové svařování	Flash welding
241	Odtavovací stykové svařování s předehřevem	Flash welding with preheating
242	Odtavovací stykové svařování bez předehřevu	Flash welding without preheating
25	Stlačovací stykové svařování	Resistance butt welding
29	Ostatní způsoby odporového svařování	Other resistance welding processes
291	Vysokofrekvenční odporové svařování	HF resistance welding

## 2.1 Bodové odporové svařování

Metoda odporového svařování, při kterém se vytváří bodový svar svařovaných materiálů mezi bodovými svařovacími elektrodami. Bodový svar má přibližně stejnou plochu jako čela elektrod [17]. Etapy bodového odporového svařování jsou na *obr. 2.1*.



**obr. 2.1:** Etapy při bodovém odporovém svařování [7]

Za působení tlakové síly jsou k sobě plechy dokonale přitisknuty, čímž je splněna jedna z mnoha podmínek pro vytvoření svarového spoje. Při průchodu proudu se dílce vlivem odporového tepla zahřejí, dochází k plastifikaci či natavení materiálu a nastává chlazení svarové čocky. Následně nastává čas odvodu tepla z bodového svaru. To zajišťují elektrody, které jsou stále přitisknuty v místě vytvořeného bodového svaru bez průchodu proudu a odvádějí teplo pryč. Tím, že jsou tlačeny silou na dílce, eliminují přechováním deformace, vzniklé chlazením, které by se nepříznivě projeví na svařenci. Po těchto fázích jsou elektrody oddáleny a celý cyklus nastává znovu.

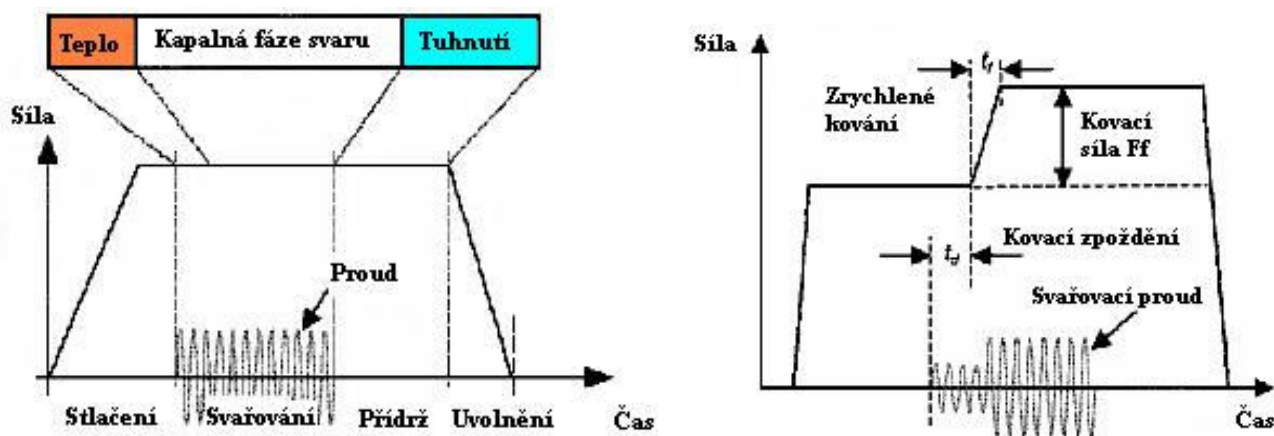
Při tvorbě svaru se teplo mezi elektrodami a plechy šíří vedením. Se zvyšující se teplotou roste měrný elektrický odpor materiálu a plošný zdroj tepla se tímto mění na objemový. Vzniklé teplo je vytvářeno různými druhy odporů. Podílí se na něm přechodové



odpory a měrné elektrické odpory svařovaných materiálů, které se během svařovacího procesu mění. Odpor  $R$  a proud  $I$  jsou časově závislé.

### 2.1.1 Svařovací cyklus

Svařovací tlak a svařovací proud jsou časově závislé. Rozeznáváme dva základní svařovací cykly, kdy první se používá pro svařování uhlíkových ocelí *obr. 2.2a* a druhý pro svařování legovaných ocelí *obr. 2.2b*.



**obr. 2.2:** Svařovací cyklus a) pro uhlíkovou ocel b) pro legovanou ocel [7]

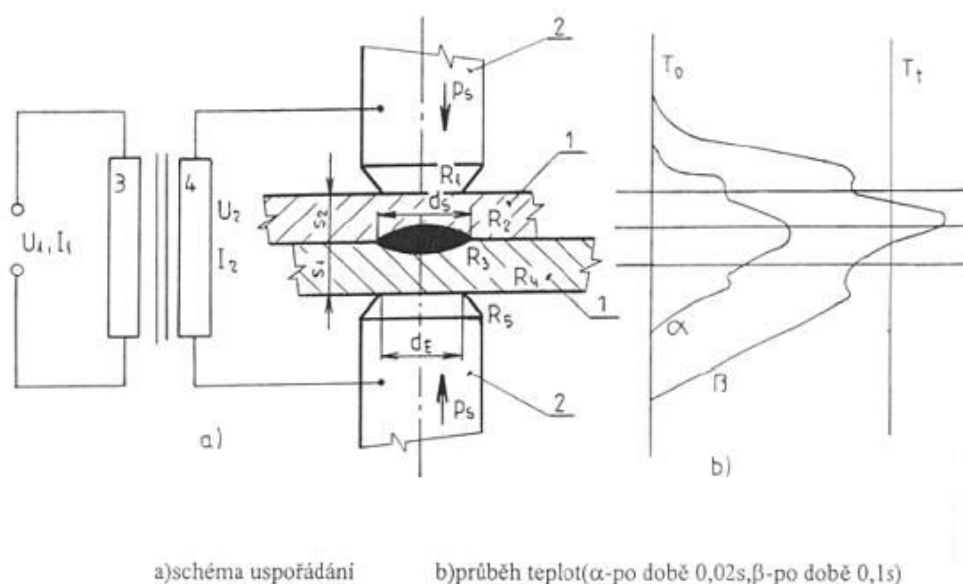
### 2.1.2 Režimy při bodovém odporovém svařování

Při bodovém odporovém svařování rozeznáváme dva základní druhy režimů:

- měkký svařovací režim – používá nízké svařovací proudy, nízké tlaky a dlouhé svařovací časy.
- tvrdý svařovací režim – využívá vysokého svařovacího proudu, vyšších tlaků a velmi krátkého svařovacího času.

V praxi se využívají tvrdé režimy, protože se díky nim podstatně zvyšuje produktivita práce a značně se snižuje svařovací čas (o 80 až 85%) oproti měkkému režimu. Deformace jsou menší, neboť tenzotermický vliv na základní materiál je minimální, takže odpadají náklady na rovnání po svaření. Jakost svaru je lepší, neboť ve spoji se dosahuje jemnozrnné struktury, proto i mechanické vlastnosti jsou lepší. Nevýhodou jsou zřetelnější stopy po elektrodách [3].

### 2.1.3 Teplo a odpory při bodovém odporovém svařování



obr 2.3: Princip svařování el. odporem [15]

$R_1$  ... přechodový odpor mezi horní elektrodou a vrchním dílcem

$R_2$  ... měrný elektrický odpor materiálu vrchního dílece

$R_3$  ... přechodový odpor mezi vrchním a spodním dílcem

$R_4$  ... měrný elektrický odpor materiálu spodního dílece

$R_5$  ... přechodový odpor mezi dolní elektrodou a spodním dílcem

Požadavkem na minimální opotřebení dosedacích ploch elektrod je, aby zvýšení odporu v místě dosednutí elektrod při zahájení svařovacího procesu bylo co nejmenší. Tohoto požadavku se dosáhne vhodným výběrem elektrodového materiálu. Dále přechodový odpor mezi elektrodami a materiálem můžeme snížit kvalitním opracováním dotykové plochy elektrody, udržováním čistoty na těchto plochách a zároveň na materiálu (tzn. odstranění olejů a znečišťujících povrchových částic).

Na začátku svařovacího procesu je největší vývin tepla ve styku mezi svařovanými plechy. Čas vývinu tepla závisí na elektrickém odporu svařovaného materiálu. Pokud materiál obsahuje více legujících prvků, jeho elektrický odpor je vyšší a vývin tepla intenzivnější. U ocelí s nízkým obsahem uhlíku trvá počáteční fáze méně než 10% z celkového svařovacího času a je rozhodující pro vytvoření objemového zdroje tepla. V tomto zdroji nadále pokračuje vývin tepla i po zániku přechodových odporů vlivem

působení přítláčné síly elektrod. Celkově vyvinuté teplo lze popsat Joule- Lenzovým zákonem v integrálním tvaru.

$$Q = \int_0^{t_{svař}} R_c(t) \cdot I^2(t) \cdot dt_{svař} \quad (1)$$

$Q$	celkové množství tepla	[J]
$R_c$	celkový elektrický odpor ( $\Sigma R$ )	[ $\Omega$ ]
$I$	svařovací proud	[A]
$t_{svař}$	svařovací čas	[s]

kde celkový odpor lze vyjádřit z *obr. 2.3* jako součet všech měrných odporů materiálu a všech přechodových odporů [12].

$$R_c = \sum_1^5 R_i \quad (2)$$

#### 2.1.4 Teplotní pole a deformace

Při odporovém ohřevu jsou tepelné procesy výrazným fyzikálním dějem. Matematický popis tohoto děje je značně složitý a k jeho řešení se musejí použít idealizované okrajové podmínky, které tím pádem neodpovídají zcela přesně realitě podmínek svařovaných materiálů. Další problém nastává, jestliže bychom chtěli vzít v úvahu existenci kapalně a tuhé fáze a proměnné hranice mezi nimi v období tvorby svaru. Teplo potřebné pro vytvoření bodového svaru vzniká průchodem elektrického proudu materiálem (*obr. 2.3*). Přechodové odpory jsou z hlediska elektrotechniky řazené do série a jejich celková hodnota je proměnná s teplotou a časem, čímž se komplikuje výpočet celkové hodnoty odporů. Tato událost dále zkresluje výsledek teplotního pole. Nejdůležitější vliv na vytvoření objemového zdroje tepla, který je zásadní pro vytvoření bodového svaru, hraje přechodový odpor mezi svařovanými dílci. Při ohřevu tento přechodový odpor zaniká a teplo se udržuje pomocí objemového zdroje tepla tvořeného vlastním odporem zahřátého materiálu.

Pro matematický popis teplotního pole při bodovém svařování (*obr. 2.5*) se uvažuje symetrie podle osy „z“, přičemž popis s určitým zjednodušením lze zapsat Fourierovou rovnicí pro vedení tepla v cylindrických souřadnicích [9]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c \cdot \rho} \quad (3)$$

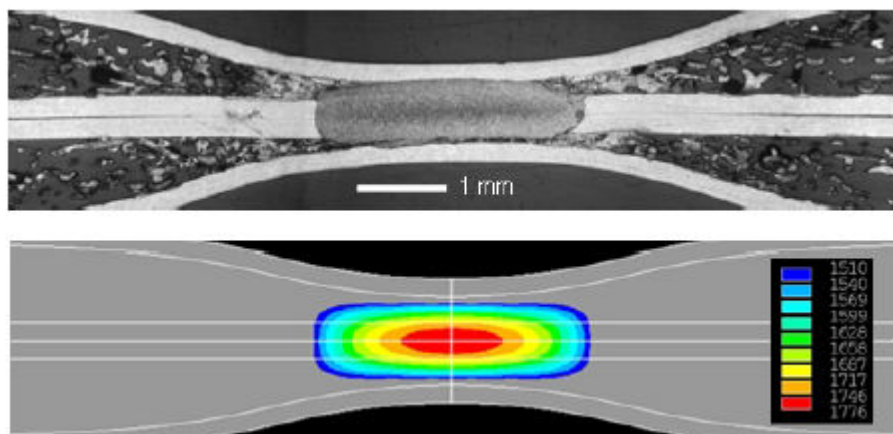
$T$	teplota	[K]
$t$	čas	[s]
$a$	součinitel teplotní vodivosti	[ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]
$q_v$	intenzita objemového zdroje tepla	[ $J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ ]
$r$	poloměr elektrody	[mm]
$c$	měrné teplo	[ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$\rho$	hustota	[ $kg \cdot m^{-3}$ ]

Zadáním okrajových podmínek a materiálových konstant umožňují simulační programy simulovat proces svařování. Programy zahrnují dva základní simulační modely.

- teplotně – elektrický model
- mechanický model

*Teplotně – elektrickým modelem* zjistíme hustotu proudu a jeho rozložení při svařování a také velikost vzniklé svarové čočky při daném průměru elektrody, proudu. Simulací lze zjistit šíření teplotního pole a velikost teploty v určitém místě bodového svaru. Na *obr. 2.4* je výsledek simulace bodového odporového svařování vysokolegovaných sendvičových plechů s vláknitým kovovým jádrem [14]. Je vidět vznik svarové čočky a hluboký vtisk do materiálu od elektrody. Odlišné barvy čočky znázorňují postupné chladnutí od místa středu s nejvyšší teplotou, až po modrou hranici (teplota nižší než teplota likvidu), kde růst čočky v simulaci končí. Na obrázku jsou konkrétní teploty získané ze simulace.

Simulací podle tohoto modelu lze stanovit předběžnou velikost svarové čočky a dobu chladnutí svaru [14].

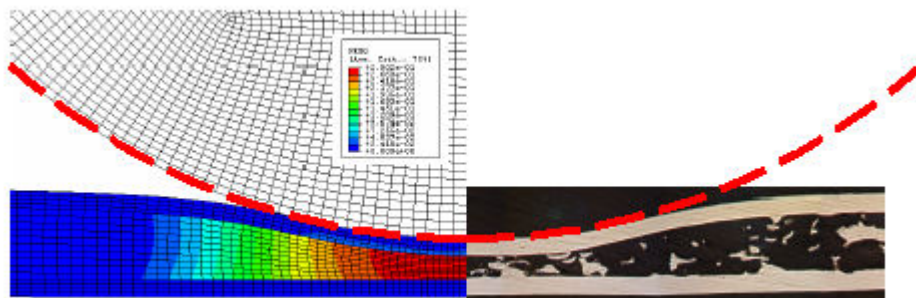


**obr. 2.4:** Simulace teplotně elektrického modelu,  
dole zjištění teplot a předběžná velikost čočky,  
nahore ovlivnění struktury materiálu [14].

*Mechanický model* stanoví velikost deformační (přítlačné) síly v závislosti na typu materiálu při stisku obou elektrod. Výsledky testů záleží na vstupních podmínkách a na volbě typu svařovaného materiálu. Ke stanovení optimální přítlačné síly, kdy vtisk bude estetický a svar kvalitní, používá simulační model hranice, které vychází z materiálových vlastností svařovaných plechů a z funkčních, estetických požadavků na výrobek.

Na *obr. 2.5* je výsledek simulace stlačení vysokolegovaných sendvičových plechů s vláknitým kovovým jádrem [14]. Červená přerušovaná čára představuje dotykovou plochu elektrody se zaoblením. Odlišné barvy znázorňují velikost deformace stlačovaného materiálu. Jestliže by v simulaci došlo ke kontaktu rubu a líce jednotlivého plechu, je tento plech nevyhovující a měl by se nahradit jiným vyhovujícím, nebo se v horším případě upravuje přítlačná síla, což se nedoporučuje.

Výsledky testu z tohoto simulačního modelu slouží ke stanovení vhodných svařovacích parametrů, ke správnému výběru svařovaného materiálu a ke vhodné volbě svařovacích strojů (dosáhnutí požadované přítlačné síly aj.) [14].

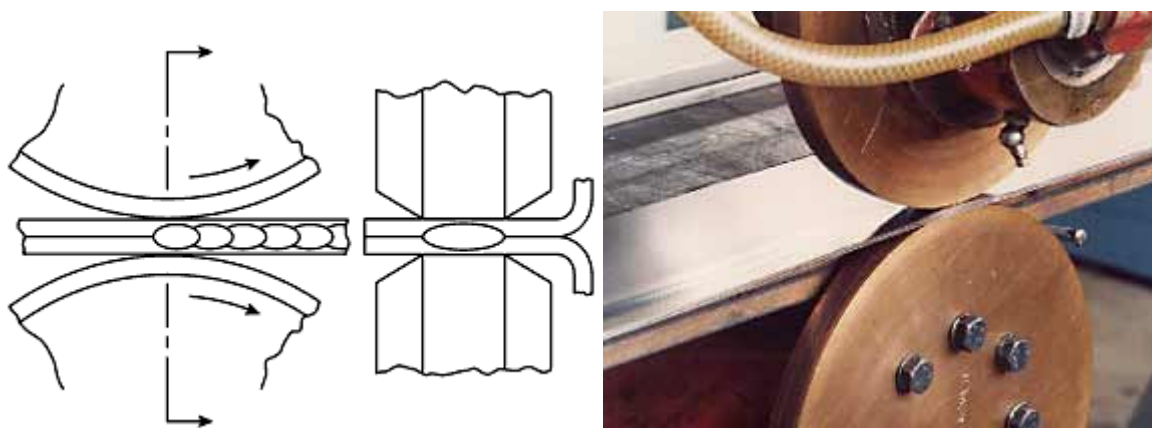


**obr. 2.5:** Simulace mechanického modelu,  
vpravo výsledek velikosti deformační síly,  
vlevo deformace struktury plechu po vtisku elektrod [14].

## 2.2 Švové odporové svařování

Metoda odporového svařování, při kterém síla působí trvale a proud prochází průběžně nebo přerušovaně a vytváří řadu překrytých bodových svarů. Svařované materiály jsou umístěny mezi kotoučovými elektrodami nebo mezi kotoučovou elektrodou a elektrodou ve tvaru tyče. Kotoučové elektrody stlačují místo svaru, přivádějí proud a otáčejí se buď plynule, aby vznikl průběžný švový svar, nebo podle programu rotují a zastavují se, aby vznikl přerušovaný švový svar [17].

Velikost svarových čoček je dána šířkou elektrod. Technologie je automatizovaná a dosahuje vysokých svařovacích rychlostí (až 100m/min). Lze svařovat zinkované povrchy, ale nedoporučuje se svařovat cínované povrchy kvůli vysokému povrchovému napětí.

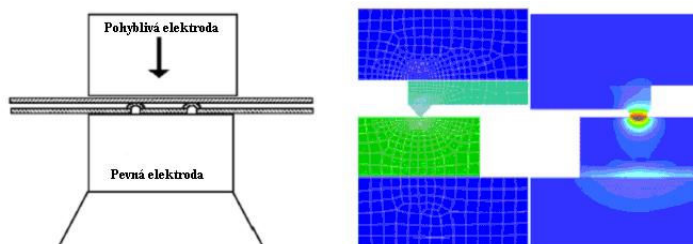


**obr. 2.6:** Princip švového svařování [28]

## 2.3 Výstupkové svařování

Metoda odporového svařování, při kterém síla i svařovací proud jsou soustředěny použitím výstupku nebo výstupků na jednu nebo více styčných ploch. Výstupky se během svařování zatlačí [17]. Další metody výstupkového svařování jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Na svaření se používá svařovací lis, přičemž svary se zhotovují mezi plochými elektrodami nebo v přípravcích či speciálních čelistech. Princip a simulace výstupkového svařování je na *obr. 2.7*.



**obr.2.7:** Princip a simulace výstupkového svařování [29]

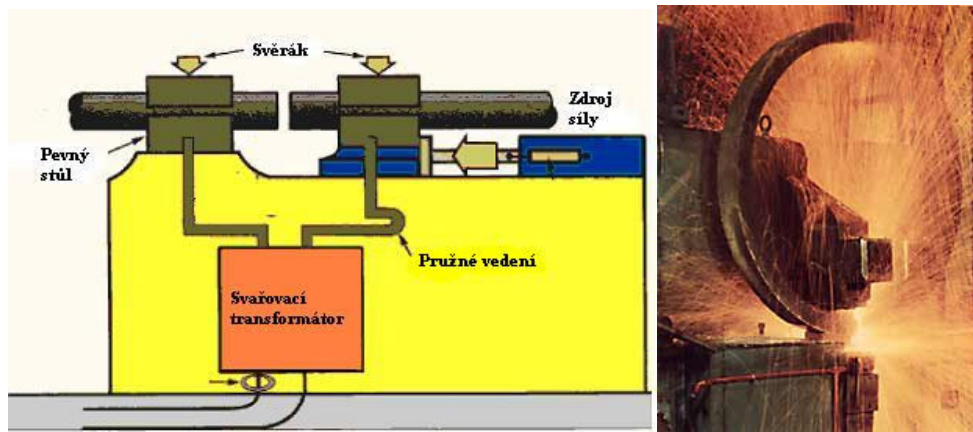
Před svařováním si musí výstupky zachovat svůj tvar (při působení přitlačné síly a v první fázi průchodu proudu). Výstupky se ohřejí, postupně se natavují, ale současně se natavuje oblast přilehlého dílce. V poslední fázi průchodu proudu dochází ke kolapsu výstupků a za působení síly se oba dílce svaří. Část vysoce ohřátého materiálu se vytlačí ze spoje a vytvoří výronek. Je zřejmé, že bez zhotovení výstupků by proud protékal přes velkou plochu a malá proudová hustota by neumožnila natavení materiálu. Úlohou výstupků je koncentrovat proud a sílu do místa budoucího svaru. Před svařením musí co nejdéle vzdorovat deformaci, jinak by ztratily svoji funkci. Kolaps musí nastat až po dostatečném nahřátí, kdy se již taví výstupek a jeho protilehlá oblast [15].

## 2.4 Odtavovací stykové svařování

Metoda odporového svařování, při kterém se díly stále k sobě přibližují, přičemž proud soustředěný na místa slabých lokálních dotyků způsobuje opakované odtavování a výstřik roztaveného kovu [17]. Další metody odtavovacího stykového svařování jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Hlavním zdrojem tepla je odtavovací oblouk. Teplo získané ohmickým odporem není důležité. Oblouk o teplotě 3500 – 5000 °C ohřívá materiál v úzkém pásmu, ze kterého se teplo šíří do materiálu převážně vedením. Upnuté tyče se při přiblížení dotýkají jen v několika bodech, v nichž se při průchodu proudu vyvíjí velké množství tepla a roztavený kov se rozstříkuje do stran. Při dalším přiblížení se počet styčných bodů zvětšuje, až se

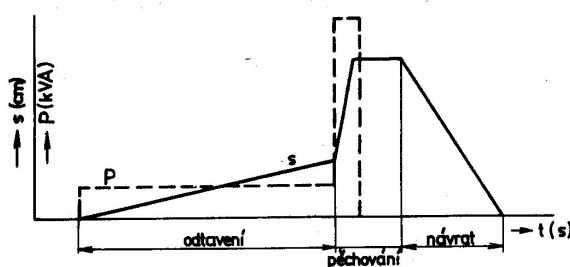
celý povrch čel svařovaných tyčí pokryje roztaveným kovem. Proudovými můstky je udržován déšť jisker, který se skládá z roztavených částeczek kovu a okují. Oba svařované povrchy mají teplotu bílého žáru a v mezeře mezi nimi jsou kovové páry, které brání přístupu vzduchu. Po dosažení ohřevu se tyče rychle a silně stlačí, přičemž se vypne proud [2]. Princip stykového svařování je na *obr. 2.8*.



**obr. 2.8:** Princip stykového svařování [30]

#### *Stykové svařování bez předehřevu*

Skládá se ze dvou fází, odtavovací a pēchovací. Musí dojít k zahřátí na teplotu, při které se na čelech svařovaných tyčí vytvoří tekutá fáze a následné pēchování, které při stlačení vytlačí oxidy znečištěného kovu do výronku na obvodu svaru. Spoj (svar) je pak tvořen čistým kovem [2]. Průběhy parametrů u stykového svařování bez předehřevu jsou na *obr. 2.8*.

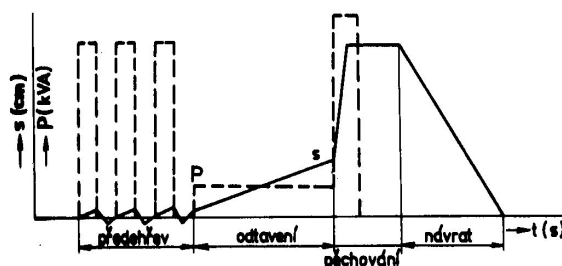


**obr. 2.8** Průběhy parametrů u stykového svařování bez předehřevu [2]

#### *Stykové svařování s předehřevem*

Používá se u tyčí větších průměrů. Při předehřevu konců tyčí probíhá spolehlivě odtavovací fáze při podstatně menším svařovacím příkonu než při svařování bez předehřevu [2]. Průběhy parametrů u stykového svařování s předehřevem jsou na *obr. 2.9*.





obr. 2.9 Průběhy parametrů u stykového svařování s předehřevem [2]

### 3. Zjištění kvality bodových svarů

Zjišťování kvality bodových svarů je dnes jednou z prioritních záležitostí při výrobě daného produktu. Použití bodového svařování je většinou charakteristické velkosériovou výrobou, u které je potřeba kontrolovat kvalitu přímo při procesu výroby.

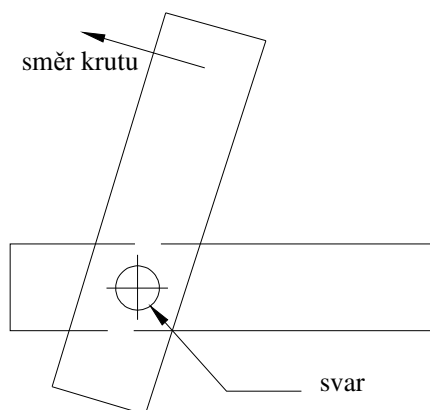
Pro zjištění kvality se musí stanovit, jak má vypadat svarový spoj, jaké má mít funkční vlastnosti a jaké mohou být tolerance. Dále se musí stanovit metodické postupy hodnocení kvality svaru – zvolit vhodnou metodu hodnocení kvality a stanovit postup provádění zkoušek. Nakonec musí být zajištěna výroba kvalitních svarů – stroj, nástroj (elektroda), svařovací parametry, monitorování a řízení svařovacího procesu.

#### 3.1 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky jsou popsány v normě ČSN EN ISO 14329 Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů [18]. Norma stanovuje definice geometrických měření a typy lomů v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Destruktivní zkoušky dělíme na:

- zkouška krutem
- křížová zkouška tahem
- zkouška stříhem
- zkouška odlupovací
- zkouška sekáčem
- zkouška metalografická

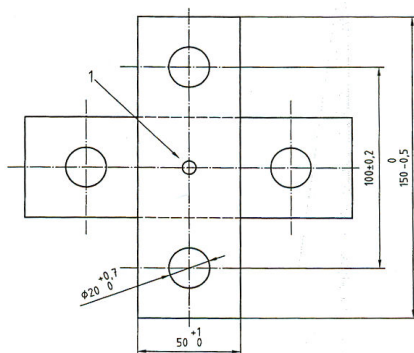
## Zkouška krutem



**Obr. 3.1:** Princip zkoušky krutem

Slouží k určení vlivu různých typů ocelí, parametrů svařování a jiných činitelů na deformační charakteristiky bodového svaru. Z porušených vzorků se může stanovit rozměr svaru a typ porušení. Může být stanoven maximální kroutící moment a odpovídající úhel zkroucení. Zkouška je určena pro bodově svařené zkušební vzorky z ocelových plechů tloušťky od 0,5 do 3 mm a za určitých okolností i pro neželezné materiály. Dnes je zkouška popsána normou ČSN EN ISO 17653 [19]. Princip zkoušky je na *obr. 3.1*.

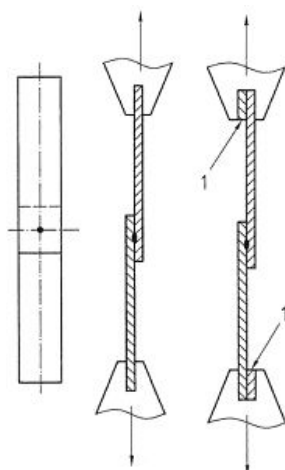
## Křížová zkouška tahem



**Obr. 3.2:** Vzorek pro křížovou zkoušku tahem [20]

Slouží ke stanovení tahové síly, kterou může zkušební vzorek vydržet. pro přeplátované spoje kovových materiálů tloušťky 0,5 až 3 mm a maximální rozměr svaru  $7\sqrt{t}$  ( $t$  – tloušťka materiálu v mm). Dnes je zkouška popsána normou ČSN EN ISO 14272 [20]. Vzorek pro zkoušku je na *obr. 3.2*.

### Zkouška stříhem

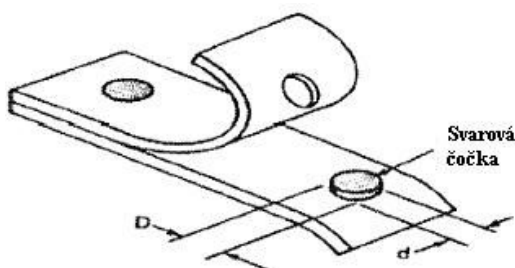


**Obr. 3.3:** Princip zkoušky stříhem [21]

a – svařený vzorek b – profil bez podložených plechů c – profil s podloženými plechy  
(pro  $t < 3 \text{ mm}$  a tam kde  $t_1:t_2 > 1,4$ )

K provedení této zkoušky je potřeba trhací stroj, který vyvine deformační střížnou sílu  $F_s$  rovnoběžnou s rovinou spojení plechů, v místě bodového svaru. Tato zkouška by se měla použít vždy nebo dle možností, po provedení bodových svarů. Platí pro přeplátované spoje kovových materiálů tloušťky 0,5 až 10 mm a maximální rozměr svaru  $7\sqrt{t}$  ( $t$  – tloušťka materiálu v mm). Dnes je zkouška popsána normou ČSN EN ISO 14273 [21]. Princip zkoušky je na *obr. 3.3*.

### Zkouška odlupovací

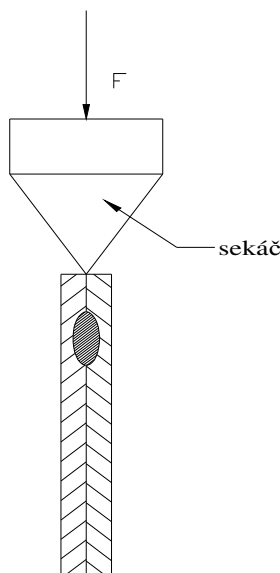


**Obr. 3.4:** Princip odlupovací zkoušky

Touto zkouškou zjišťujeme zda provedený svar odpovídá daným požadavkům. Zatížení spoje tímto typem zkoušky odpovídá nejvíce provozním podmínkám. Po provedení odlupovací zkoušky zjistíme, zda se nevyskytují studené spoje, které jsou nejvíce nebezpečné pro provoz. Zkouška se provádí vždy, jestliže se svařovaly ocele

s ochranným povrchovým povlakem. Tyto spoje jsou nejvíce náchylné ke vzniku studených spojů. Dnes je zkouška popsána normou ČSN EN ISO 14270 [22]. Výsledným vyhodnocením je získání rozměru svarové čočky viz. *obr. 3.4*.

### **Zkouška sekáčem**



**Obr. 3.5:** Princip zkoušky sekáčem

K provedení této zkoušky je potřeba speciální nástroj – sekáč, který se zasune mezi dva svařené plechy a po vykonání určité síly dojde k deformaci bodového svaru. Deformace se projevuje jako zlomenina plechu v okolí svaru, nebo dochází k vytržení bodového svaru ze základního materiálu. Dnes je zkouška popsána normou ČSN ISO 10447 [23]. Princip zkoušky je na *obr. 3.5*.

### **Zkouška metalografická**

Při metalografické zkoušce zjišťujeme mikrostrukturu a makrostrukturu svarového spoje. Vzniklý svarový spoj se rozřízne tak, že řezací nástroj je vyosen o polovinu své šířky od osy svaru, dále se vzorek vybrousí a vyleští a nakonec se naleptá v 1,5 – 2% Nitalu (pro uhlíkovou ocel). Na docíleném výbrusu se zjistí, zda svar neobsahuje různé nečistoty, trhliny aj. Měřením určíme velikost průměru svarové čočky. Metalografická zkouška je popsána normou ČSN EN 1321 Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů.

### 3.2 Nedestruktivní zkoušky

Pro hodnocení odporových svarových spojů nejsou přímo specifikovány normy ČSN. Existují odkazy na normy ČSN nespecifikované přímo pro hodnocení odporových svarových spojů např. v ČSN EN ISO 15614-13.

Při nedestruktivních zkouškách nedochází ke zničení vyrobeného dílu. Největší důraz je kladen na zkušenost kontrolního dělníka rozpoznat vadný spoj. K tomu může použít tyto metody:

- metoda magnetická indukční
  - zjištění pomocí rozptylového pole
  - zjištění pomocí vířivých proudů
- metoda X – RAY
- metoda ultrazvuková

#### **Metoda magnetická indukční**

##### *Zjištění vady pomocí rozptylového pole*

Rozptylové pole se zjišťuje elektromagnetickými snímači, které se pohybují nad povrchem zkoušeného tělesa. Zachycují změny magnetického pole a mění je na elektrické impulsy, které se registrují. Metoda je vhodná pro feromagnetické materiály [1].

##### *Zjištění vady pomocí vířivých proudů*

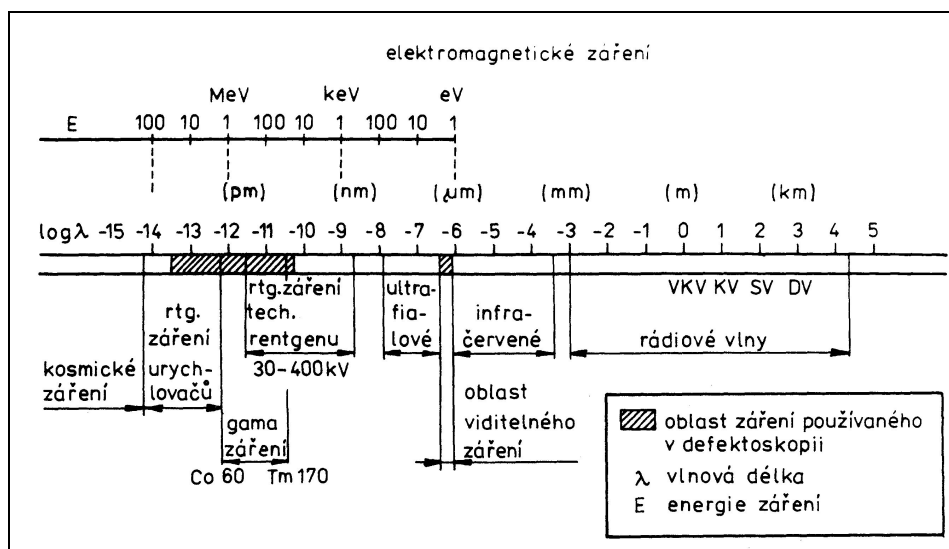
Střídavé magnetické pole cívky zkušebního přístroje indikuje na povrchu výrobku střídavé proudy, jejichž hustota je závislá i na vodivosti materiálu výrobku. Vady povrchových vrstev vodivost lokálně zhoršují, což se zpětně projeví změnou elektrického napětí v cívce. Metoda je vhodná jak pro nemagnetické, tak pro feromagnetické materiály. Metoda umožňuje zkoušet i materiály s nátěrem nebo izolací, pokud je vrstva konstantní tloušťky. Tato metoda se velmi často využívá v sériové a hromadné výrobě k časnému odhalení vzniklých vad [1].

#### **Metoda X – RAY (prozáření)**

Patří k nejčastějším defektoskopickým zkouškám. Používají se především ke kontrole celistvosti svarových spojů, odlitků, výkovků, pro tepelná či jaderná zařízení, chemická zařízení a v dalších strojních součástích a zařízeních. Prozařovací metody jsou vhodné pro kontrolu vnitřních vad, které výrazně zeslabují tloušťku stěny ve směru záření.

Nevhodné jsou pro zjišťování plošných vad. K prozařování se používá rentgenové záření a záření gama. Jsou to elektromagnetická vlnění s velmi krátkými vlnovými délkami (obr. 3.6). Lze je rozdělit na dlouhovlnné, krátkovlnné a velmi krátkovlnné. Obě záření jsou průchodem materiálu zeslabována v závislosti na tloušťce materiálu a jeho chemickém složení a na vlnové délce záření. Krátkovlnné záření je zeslabováno méně než dlouhovlnné. Záření se může zviditelnit více metodami [1]:

- fotografická registrace (snímkování)
- fluorescenční registrace
- ionizační registrace



**obr. 3.6:** Vlnové délky elektromagnetického vlnění [1]

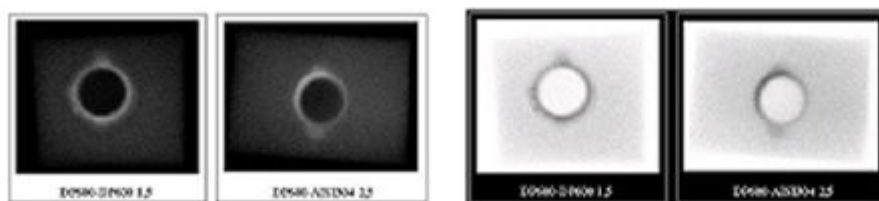
### Fotografická registrace

Využívá citlivý film umístěný v kazetě za hodnoceným předmětem. Záření působí na citlivou vrstvu filmu a vzniká fotografický záznam – radiogram. Místa dutin, řídkých oblastí, struskových vměstků, trhlin a nespojitostí ve směru procházejícího záření se na radiogramu objeví jako tmavá místa. Velikost vad se posuzuje měrkami nebo defektometrem. Měrky se při prozařování kladou na povrch prozařovaného předmětu a zobrazí se na radiogramu [1].

### Fluorescenční registrace (prosvěcování na štítě)

Využívá schopnosti rentgenového záření nebo záření gama vyvolat fluorescenci některých látek. Její intenzita je úměrná intenzitě dopadajícího záření. Na fluorescenčním

štítu lze přímo pozorovat vady, mající sníženou absorpci záření, jako světlejší místa na tmavém pozadí viz. obr. 3.7 [1].



**obr. 3.7:** Kontrola prozáření (positivní a negativní zobrazení) [10]

### *Ionizační registrace*

Využívá schopnosti rentgenového záření nebo záření gama vyvolat ionizaci plynu, a tak registrovat dopadající fotony s vysokou citlivostí. Fluorescenční a ionizační registrace procházejícího záření umožňují hodnotit rozložení, tvar a velikost vnitřních vad, ztenčení stěn aj., souvisle na velkých rozměrech výrobků a při úspoře času [1].

### **Metoda ultrazvuková**

Využívají odrazu ultrazvuku na rozhraní dvou prostředí, které existuje například v místě trhlin, pórů, dutin apod. Používá se podélných a příčných ultrazvukových vln o frekvenci 1 až 10 MHz. Budí se piezoelektrickými nebo elektrostričními destičkami. Podélné vlny se mohou šířit v plynných, kapalných i v pevných látkách, příčné jen v tuhých látkách. Výpočtem vlnové délky podle vzorce (5) lze stanovit vady v materiálu [1].

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4)$$

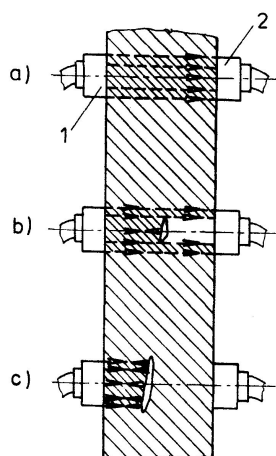
$\lambda$	vlnová délka vln	[nm]
$v$	rychlost šíření	[m.s <sup>-1</sup> ]
$f$	frekvence ultrazvukových vln	[MHz]

Používají se dvě známé metody:

- průchodová metoda
- odrazová metoda

### *Průchodová metoda*

Základem metody je měření ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Pracuje se se dvěma sondami (vysílač a přijímač) proti sobě. Jestliže je v materiálu vada nebo vměstek, ultrazvukové vlny se od ní odrážejí. Za vadou se tvoří „stín“ a do přijímače přichází menší energie. Nevýhoda této metody je, že je potřeba zajistit přístup ke kontrolovanému výrobku z obou stran a musí být také zajištěna dokonalá synchronizace obou sond [1].



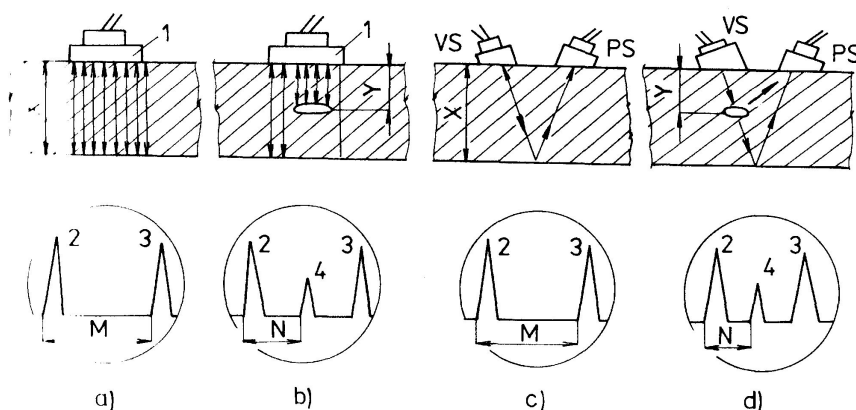
**obr. 3.8:** Princip průchodové metody [1]

- 1) vysílač 2) přijímač a) materiál bez vad  
b) materiál s menší vadou c) materiál s větší vadou

### *Odrazová metoda*

Používá se nejvíce. Do zkoušeného předmětu se vysílají krátké a ultrakrátké ultrazvukové impulsy, které se odrážejí od povrchu předmětu a jeho vnitřních vad. Zachycená ultrazvuková energie se převede na elektrický signál, který lze pozorovat na obrazovce. Používá se buď jedna sonda, která pracuje zároveň jako vysílač a přijímač, nebo se použijí sondy samostatně. Jestliže se v trajektorii vyskytne nějaká vada, na obrazovce vznikne poruchové echo. Z jeho polohy se určí hloubka vady pod povrchem, z výšky a tvaru echa se usuzuje velikost vady viz. obr. 3.8 [1].





**obr. 3.8:** princip odrazové metody [1]

1) vysílač/přijímač VS) vysílač PS) přijímač a,b) s jednou sondou c,d) s dvěma sondami

### Ultrazvukový Mini Scanner System

Firma AMSTERdam TECHnology je výrobcem speciálních přístrojů (*obr. 3.9*) pro nedestruktivní zkoušení. Nosným programem jsou speciální systémy umožňující podrobnou kontrolu důležitých konstrukčních prvků.

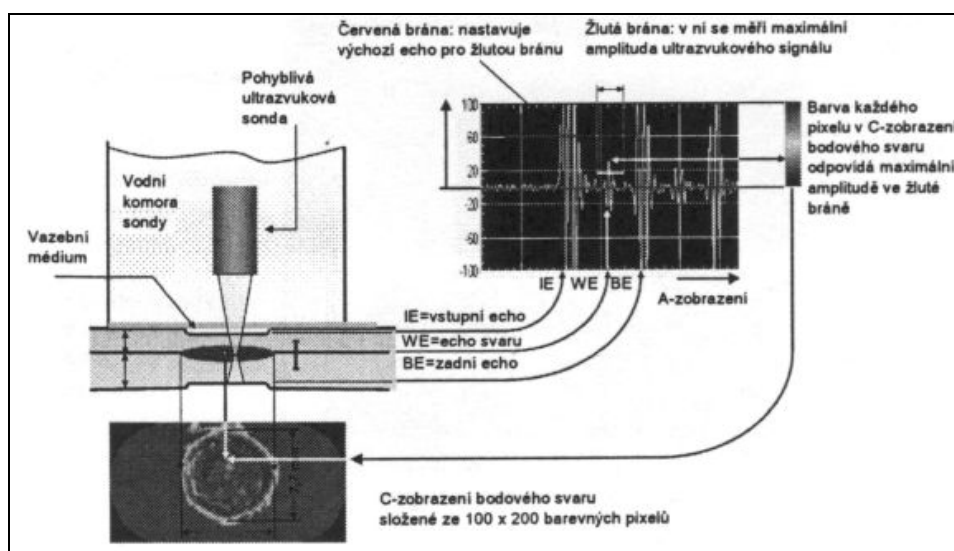
Unikátní Mini Scanner System pro ruční kontrolu bodových svarů je zařízení na bázi vysokofrekvenčního ultrazvuku. Rotační sonda jako „ímerzní nádoba“ umožňuje detailní inspekci plochy 10 x 20 mm s rozlišením 0,1 x 0,1 mm za dobu kratší než 5 s. Sonda je naplněná vodou a uzavřena membránou (ímerzní prostředí). Vazební styk se sondou a kontrolovaným dílcem zprostředkovává běžná vodní želatina. Řídící jednotka skeneru na dotykovém displeji zobrazí dvojrozměrnou mapu kontrolované plochy a současně je možné vyhodnotit každý její bod. Bezprostředně na displeji lze také vidět tvar a tloušťku svarů, rozměr a hloubku vměstků, výpočet rozměrů svarové čočky z elipsy opsané kolem kontury svaru a hloubku důlku bodového svaru pomocí měření TOF (Time Of Flight) (*obr. 3.10*). Data kontroly jsou ukládána na pevný disk. Lze použít různé varianty hlavic. Přímá skenovací hlavička se používá pro kolmou polohu skeneru a úhlová pro obtížně dostupná místa. K lomu svazku je použito zrcadlo. Programové vybavení přístroje umožňuje vyhodnocení dat po uložení změnou bran, uložení ultrazvukových parametrů zkoušky, číselné vyhodnocení tloušťky stěny, dvě C – zobrazení s nezávislými branami, C – zobrazení bez pracovního obrazu [25].

Zařízení najde uplatnění zejména při kontrole bodových svarů v automobilových výrobcích a při kontrole nýtovaných spojů v leteckém průmyslu. Dále lze využít pro kontrolu laserových svarů, lepených spojů, pájených spojů a kontrolu korozních míst. Při

aplikaci mohou nastat praktická omezení fyzikálními vlastnosti metody zkoušení. Nedostatečný odraz ultrazvukové vlny způsobený rozptylem na ostrých okrajích svaru nebo rozptylem od hrubého povrchu svaru nebo neoptimální polohou skeneru [25].



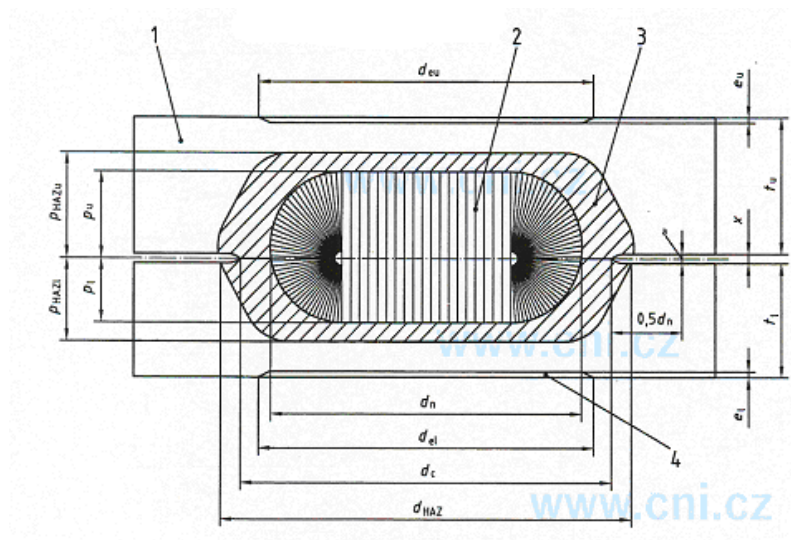
**obr. 3.9:** Mini Scanner System [25]



**obr. 3.10:** Schéma a princip zkoušení bodových svarů [25]

### 3.3 Měření příčného řezu svaru

Kvalita bodového svaru se určí pomocí měřitelných veličin. Změřením geometrie (*obr. 3.11*) se zjistí, jestli svar vyhověl požadavku. Zkoušení je popsáno normou ČSN EN ISO 14329 [18]. Norma stanovuje definice geometrických měření a typy lomů v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů.

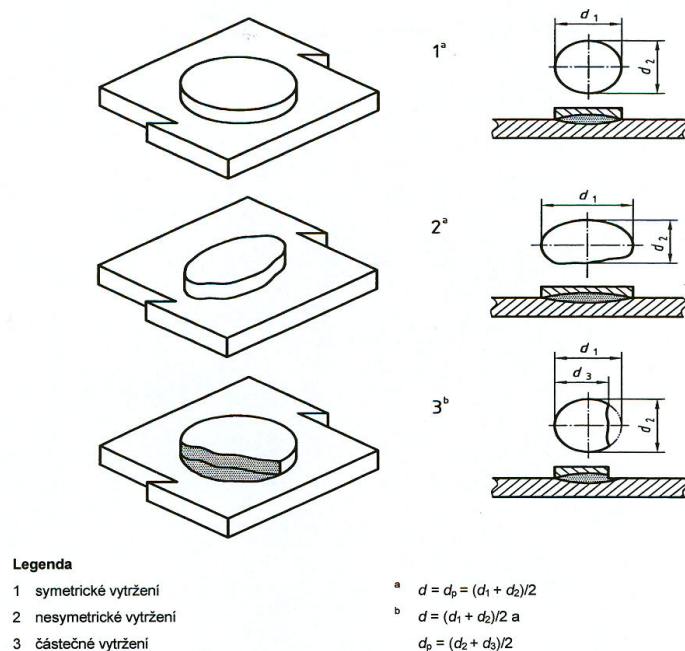


**obr. 3.11:** Geometrie svarového bodu [18]

$p_l, p_u$	průvar svarové čocky	[mm]
$d_{el}, d_{eu}$	průměry vtisku elektrod	[mm]
$d_n$	průměr čocky	[mm]
$e_l, e_u$	hloubka vtisku elektrody	[mm]
$x$	mezera mezi plechy (a – místo měření mezery)	[mm]
$t_l, t_u$	tloušťka materiálu	[mm]
$d_{HAZ}$	průměr tepelně ovlivněné oblasti,	
$p_{HAZl}, p_{HAZu}$	průnik tepelně ovlivněné oblasti;	
1	základní materiál,	
2	svarová čocka,	
3	tepelně ovlivněná oblast,	
4	vtisk elektrody	

U dílenských zkoušek mohou při vytržení svarových bodů vzniknout výčnělky, jejichž průměr je v závislosti na vytržení materiálu při svařování větší, než svarová čocka.

Pro stanovení průměru bodu se změří výčnělek  $d_1$  a  $d_2$  (2. měření přesazené o  $90^\circ$ ) a následně se stanoví průměrná hodnota z obou měření. Měření svaru je na *obr. 3.12* [18]



**obr. 3.12:** Měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením [18]

$d_1$ – maximální průměr svaru	[mm]
$d_2$ – minimální průměr svaru	[mm]
$d_3$ – minimální šířka vytržené části při částečném porušení	[mm]
$d_p$ – střední hodnota průměru vytržené části	[mm]

#### 4. Chyby při bodovém svařování

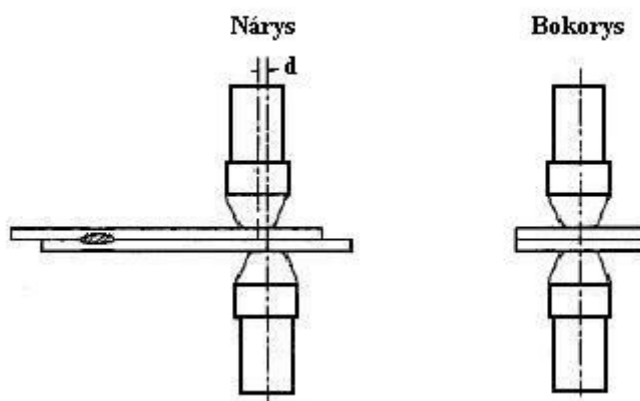
V dnešní době se výroba neobejde bez studia chyb, které vedou k ekonomickému zatížení výroby. V automobilovém průmyslu, který je hned po leteckém, považován za druhý nejnáročnější na bezpečnost, kvalitu, rychlost výroby, ekonomickou náročnost a logistiku se každá chyba odráží časovou ztrátou a tím i ztrátou ekonomickou. Studium a následným řešením k odstranění chyb musejí spolupracovat všechny podniky a úseky podílející se na výrobním procesu. Propracovanými technologickými postupy a následným dodržením těchto postupů dochází k největší eliminaci chyb. Pro správné a efektivní zavedení postupů musí dojít ke školení dělníků provádějící danou operaci.

Po operaci tváření plechů, která je základní operací pro zpevnění a získání tuhosti karoserie přichází stejně důležitá operace, bodové svaření těchto dílců. Odstranění chyb dělníků umožňuje seřízená automatizační technika.

## 4.1 Chyby obsluhy a seřízení strojů

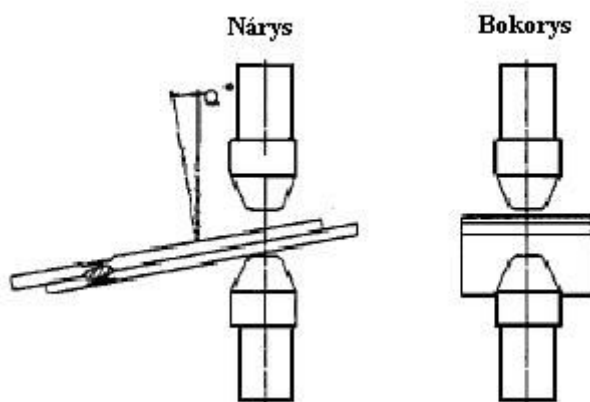
Chyby, kterých se při provozu mohou dělníci dopustit nebo chyby po špatném nastavení stroje znázorňují následující obrázky:

Špatné nastavení osy elektrod o odchylku „d“ vede k nesymetrii svarové čochky. Zvyšují se náklady na svařování, neboť proud neprochází přímou cestou - *obr. 4.1* [6].



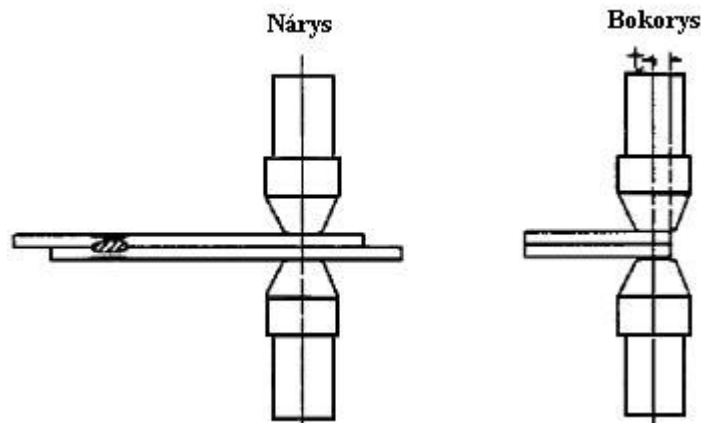
**obr. 4.1:** Chyba v nesouososti elektrod (špatné seřízení stroje) [6]

Úhlové vychýlení svařovaných předmětů od vodorovné polohy v úrovni středu dotyku elektrod vede k větším vtiskům elektrod do materiálu. Svarová čochka není vytvořena symetricky mezi plechy a tím dochází k poklesu pevnosti a soudržnosti svařených předmětů - *obr. 4.2* [6].



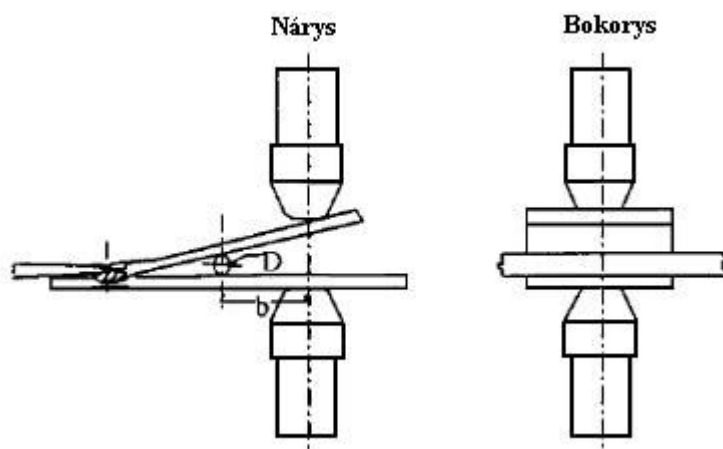
**obr. 4.2:** Chyba v úhlové vychýlení od vodorovného směru (chyba dělníka) [6]

Svařování na hranách plechů s minimálním odsazením „t“, je riskantní v tom, že při průběhu svařování může dojít k výstřiku svarové lázně ven z materiálu, a tím dojde k nedokonalému spojení svařovaných předmětů - *obr. 4.3* [6].



**obr. 4.3:** Chyba svařování na hranách plechů (chyba dělníka) [6]

Při svařování s více body za sebou může dojít k tomu, že se do prostoru mezi svary dostane nečistota o velikosti „D“ a vzdálenosti „b“ od elektrody. Po následném svaření nejsou plechy k sobě těsně přitisknuty a dochází k tvorbě vyvýšeniny. Jestliže by na tuto vyvýšeninu působila zatěžovací síla z vnějšku, dojde k pružení a namáhání svarové čochy na stříh - *obr. 4.4* [6]. Je to nepříjemná vada!



**obr. 4.4:** Chyba svařování s následným předpružením (chyba dělníka) [6]

## 4.2 Vliv nastavení svařovacího proudu

Špatné nastavení technologických parametrů vede ke vzniku svarů, které neodpovídají jakostním a bezpečnostním parametrům. Optimálním nastavením svařovacích parametrů se zabývá osoba k tomu určená, vyškolená, s patřičnými znalostmi a certifikáty umožňující toto provádět. Rozeznáváme několik špatných nastavení.

V měkkém svařovacím režimu se používají nízké svařovací proudy a tlaky, dlouhé svařovací časy. Spojení těchto vlivů vede k větší oblasti natavení materiálu. Elektrody

zanechávají větší vtisky a jsou náchylnější ke znečištění, dochází k rozstříkům materiálu, nebo k jeho vyžhání.

Po zvýšení proudové hustoty a snížení svařovacího času se může docílit optimálního nastavení. Jestliže však dojde k velkému navýšení proudové hustoty, prováděný svar je náchylnější k výstřiku roztaveného materiálu z rozhraní spoje svařovaných dílců. Následně dochází k zeslabení svaru. Nalezení optimálních svařovacích parametrů je pod úrovní rozstříku materiálu. Z toho je zřejmé, že procesní hodnota tepla nemůže být větší, než celková ztráta v dílcích a elektrodách, aby nedošlo k výstřiku materiálu [8].

### **4.3 Vliv nastavení tlaku**

Primárním účelem tlaku je držet svařované dílce v bezprostředním kontaktu v místě jejich dotyku mezi elektrodami. Toto uspořádání zajišťuje odpovídající elektrický odpor a vodivost v čočce svaru. Výzkumy také prokázaly, že vysoké tlaky vyvinuté na místo svaru snižují odpor mezi svařovanými dílci navzájem a mezi svařovanými dílci a konci elektrod [8].

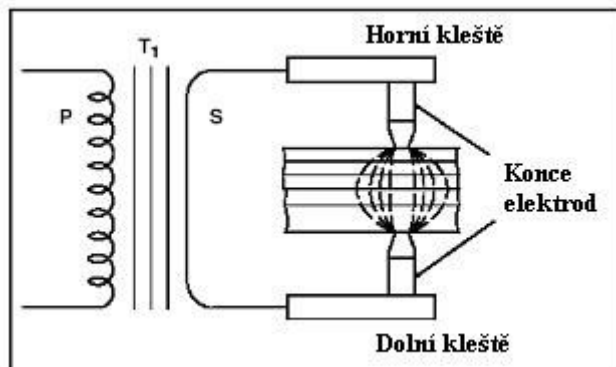
### **4.4 Faktor času**

Většina svarů vzniká za velmi krátký časový úsek. Časový úsek je rozdělen na cykly, kde platí  $50 \text{ cyklů} = 1 \text{ sekunda}$ . Kontrola času je velmi důležitá. Pokud je svařovací čas příliš dlouhý, může dojít k roztavení základního materiálu v celém jeho objemu mezi elektrodami a k tvorbě pórů nebo rozstříku roztaveného kovu. Kratší svařovací čas snižuje přenos tepla z bodu svaru dále do kovu, tím je minimalizováno zkroucení svařovaných dílců a tepelně ovlivněná zóna kolem bodu svaru je podstatně menší [8].

## **5. Tepelně ovlivněná oblast (TOO)**

Pokud chceme svařit dva dílce stejné tloušťky a ze stejného materiálu, je proudový tok skrz svařované dílce považován za přímkou rovnoběžné s osou elektrod a kolmé na rozhraní spojení svařovaných dílců. Jestliže svařujeme více plechů najednou, s rozdílnou tloušťkou a z různých materiálů, dochází k poklesu proudové hustoty a „otevření“ proudového toku, jak naznačuje *obr. 5.1*. Otevření smyčky toku proudu zvětšuje tepelně ovlivněnou oblast materiálu. V tomto případě je největší hustota na špičkách elektrod a

nejmenší ve středu délky mezi nimi. Pokles proudové hustoty je často proměnný a bránění k řádnému svaření dílců je v praxi častým problémem [8].



**obr. 5.1:** TOO u bodového svařování [8]

## 6. Elektrody

Nejpoužívanější materiál v bodovém odporovém svařování k výrobě elektrod je měď, která díky svým vlastnostem zajišťuje dobré vedení proudu dílci. Špičky elektrod jsou převážně vyráběny ze slitin mědi. Podle RWMA (*tab. 6*) rozlišujeme tři skupiny špiček elektrod:

- skupina A – slitiny na bázi mědi
- skupina B – žáruvzdorné kovy
- skupina C – speciální materiály

Tyto skupiny jsou dále děleny do číselných tříd. Skupina A se člení do třídy 1, 2, 3, 4 a 5, skupina B se dělí do třídy 10, 11, 12, 13 a 14 a skupina C do třídy 20 a vyšší.

Elektroda skupiny A, třída I je svým složením nejbližší čisté mědi. Čím je číslo třídy vyšší, zvyšují se hodnoty tvrdosti a teploty vyžhání, zatímco hodnoty tepelné a elektrické vodivosti se snižují. Elektrody skupiny B jsou slinutou směsí mědi, wolframu a dalších prvků s vysokou odolností proti opotřebení a vysokou pevností za vysokých teplot. Elektrody skupiny B, třída 10 má čtyřiceti procentní vodivost mědi. Se zvyšujícím se číslem třídy klesá vodivost elektrody. Elektrody skupiny B se obvykle při odporovém bodovém svařování nepoužívají [8]. Elektrody skupiny C jsou speciálními materiály s oxidační vrstvou hliníku. Vyznačují velmi vysokou odolností proti opotřebení [31].



**Tab. 6:** Tvrdost elektrod jednotlivých skupin a tříd podle RWMA [31]

			Minimum %IACS	Properties Hardness
Group A	Class 1–9	Class 1	80	65 Rb
		Class 2	75	75 Rb
		Class 3	45	90 Rb
		Class 4	20	33 Rc
		Class 5	12	65 Rb
Group B	Class 10–19	Class 10	45	72 Rb
		Class 11	40	94 Rb
		Class 12	35	98 Rb
		Class 13	30	69 Ra
		Class 14	30	85 Rb
Group C	Class 20 and up	Class 20	75	75 Rb

## 6.1 Velikost špiček elektrod

Velikost špičky elektrody je klíčová vzhledem k tomu, že určuje velikost bodu svaru, přičemž průměr špičky elektrody je vždy o trochu větší, než průměr svarové čočky. Jestliže je průměr špičky elektrody příliš malý, bude svarový bod malý a slabý. Bude-li špička elektrody neúměrně velká k tloušťce plechů, dojde k velkému natavení materiálu. Tento svar je hodnocen jako nepřijatelný. Stanovení průměru špičky elektrody se odvíjí od vlastního odporu materiálu, který je na výrobu elektrody použit [8].

Vzorec pro výpočet průměru špiček elektrod při svařování plechu z nízkouhlíkové oceli je následující:

$$D = 2,54 + 2t_L \quad (5)$$

D      průměr elektrody      [mm]

t<sub>L</sub>      tloušťka plechu      [mm]

V případě, že jsou oba svařované plechy stejné tloušťky, dosazujeme za  $t$  shodnou hodnotu a výsledné průměry konců elektrod se taktéž musí rovnat. Jsou-li však plechy různých tloušťek, dosazujeme za  $t$  příslušné hodnoty svařovaných plechů a průměry konců elektrod se tedy liší v závislosti na těchto tloušťkách [24].

## **7. Vybrané materiály pro bodové odporové svařování**

### **7.1 Svařování plechů z nízkouhlíkové ocele**

Nízkouhlíková ocel tvoří největší procentuální podíl všech materiálu, které se svařují bodovou odporovou metodou. Všechny nízkouhlíkové oceli jsou vhodné k okamžitému svaření za předpokladu užití správného vybavení a metod. Dojde-li k příliš rychlému ochlazení uhlíkové oceli, vznikají ve svaru křehké a velmi tvrdé mikrostruktury. Za tepla válcované plechy mají na povrchu zaválcované okraje, a proto nejsou pro odporové bodové svařování vhodné. Za studena válcované plechy a konzervované olejem se dají bodově odporově svařit bez větších problémů. Doporučuje se však plechy od oleje před svařováním očistit, jelikož při procesu svařování dochází k tvorbě uhlíku na koncích elektrod, což snižuje jejich životnost. Pevnost ve stříhu bodového svaru by se měla rovnat pevnosti ve stříhu základního materiálu a zároveň by měla převýšit pevnost svaru vytvořeného tavným svařováním. Pevnost ve stříhu je používána jako hlavní kritérium při vyhodnocení kvality svaru. Tato kontrola potvrdí vyhovující kvalitu tak, že po odlupovací zkoušce zůstane vytvořená svarová čoučka na jednom z oddělených plechů.

Při práci s magnetickými materiály se hodnota protékajícího proudu svarem může podstatně lišit v závislosti na síle zmagnetizování [8].

### **7.2 Svařování plechů z nízkolegované ocele**

Bodové odporové svařování nízkolegovaných ocelí a ocelí se středním obsahem uhlíku není zase tak odlišné od svařování nízkouhlíkových ocelí. Hodnota odporu materiálu je vyšší, v závislosti na vyšším obsahu legujících prvků a uhlíku v oceli, a proto se nevyžadují tak vysoké proudy, jak je tomu u nízkouhlíkových ocelí. Od počátku metalurgických změn těchto materiálů, které jsou větší než u nízkouhlíkových, hraje důležitou roli čas a teplota, neboť tyto materiály jsou velmi náchylné ke křehnutí. Stlačení elektrod je obvykle vyšší, protože ocel má vyšší pevnost v tlaku. Toho lze využít pro svařování s dlouhými svařovacími časy, aniž by docházelo ke vtiskům elektrod a degradaci materiálu [8].

### **7.3 Svařování plechů z vysokolegované ocele**

Bodové odporové svařování austenitických ocelí je velmi příznivé, neboť tyto materiály mají vysoký elektrický odpor. Ocele tohoto typu jsou náchylné k tvorbě nežádoucích karbidů chromu. Musí se zajistit velmi krátký čas ochlazení materiálu

v rozmezí teplot 220 – 450 °C. Dodržením této podmínky se radikálně zmenší tvorba karbidu chromu na hranicích zrn. Při použití dlouhých svařovacích časů je čas ochlazení v kritickém intervalu delší, a tím je i větší náchylnost k tvorbě karbidů [8].

## **7.4 Svařování plechů s kovovými povlaky**

V automobilovém průmyslu převládají plechy se zinkovým povlakem. Povlak je dnes základní prvek protikorozní ochrany vozu a při bodovém odporovém svařování těchto plechů se mohou vyskytnout problémy. Části vozu, které mají být odolné vůči korozi, mohou být svařeny rovnou z pozinkovaných plechů, anebo se svaří z plechů bez zinkového povlaku a následně projdou galvanizací s daným ponorem. Ponor určuje výšku zinkové vrstvy. Tato technologie je převládající, neboť rapidně snižuje počet svarů pozinkovaných plechů. Svařování pozinkovaných plechů se ale výroba nevyhne. Zinkový povlak nemá konstantní tloušťku a velikost odporu při svařování se mění svar od svaru. Je velmi obtížné nastavit přesné podmínky svařovacích parametrů pro daný materiál. Bod tání zinku je nižší, než bod tání ocelového plechu, proto dojde k vypaření zinkového povlaku. Po odstranění zinkového povlaku stlačíme adekvátním tlakem rozhraní plechů ocel na ocel. Jestliže bodový svar vznikne v době vypařování zinku, je vlivem par pórovitý a tím klesá jeho pevnost ve střihu.

Vypařující se povlak zinku má tendenci špinit konce elektrod. Znečištěné konce by měly být čištěny velmi často, neboť dochází ke změnám elektrické a tepelné vodivosti elektrod a jejich mechanickému opotřebování. Doporučená frekvence očištění konců elektrod je každý pátý svar. Zajištění vyhovující kvality bodových svarů a ustálení svařovacích podmínek je dobré provést několik předsvarů. Tento interval se pohybuje v rozmezí 30 – 60 svarových bodů, nebo lze vizuálně posoudit a provádět až do očernění konců elektrod.

Při svařování povlečených materiálů všeobecně platí přísné zdravotní a hygienické normy (zvláště pro olověné povlaky), protože vznikají nebezpečné, jedovaté páry kovů. Musí být zaručeno dokonalé větrání! [8].

## **7.5 Svařování pozinkovaných vysokopevnostních plechů (DP600)**

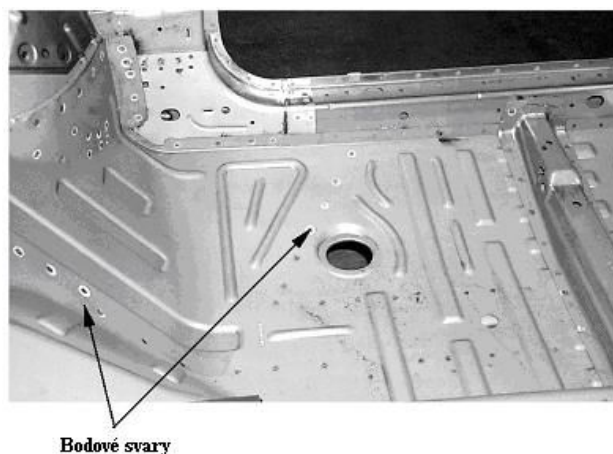
Použití vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu stále roste. To je zapříčiněno zvyšujícím se nárokem na vyšší bezpečnost vozu při nehodě. Plechy této kategorie zajišťují vysokou pevnost a tuhost, dále poskytují řízenou deformaci. Při výrobě

jsou zastoupeny mikrolegované plechy, CPW, Trip, DP ocele a díly tvářené za tepla. S požadavkem protikorozi ochrany je rozšířena kategorie o zdokonalené vysokopevnostní plechy (DP600) se zinkovým povlakem, které se nejvíce používají na části karoserie automobilu (*obr 6.1*) [9].

Změna je v jiném nastavení svařovacího proudu. Hodnota proudu je nepatrně vyšší, než u normální vysokopevnostní ocele. Pro řádné svaření pozinkovaných vysokopevnostních plechů je svařovací čas rozdělen do tří kroků [10]:

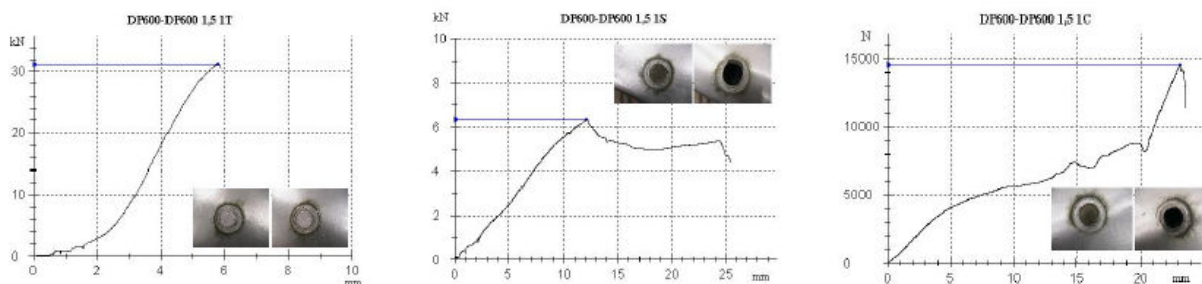
- doba před hlavním svařováním (4 cykly)
- doba hlavního svařování (7 cyklů)
- doba po hlavním svařování (4 cykly)

K odstranění zinkového povlaku mezi plechy jsou použity 4 cykly před hlavním svařováním. Doba před hlavním svařováním je stanovena přibližně na 30% svařovacího času. Doba po hlavním svařování zpomaluje rychlost chladnutí, a tím dochází k eliminaci tvorby tvrdých struktur. Testování svarových bodů lze vidět na *obr. 6.2* [10].



**obr. 6.1:** Vysokopevnostní plech podlahy karoserie [11]

Provedené svary plechů DP600 byly podrobeny třem destrukčním zkouškám, jejichž výsledky lze vidět na následujícím obrázku 6.2.



**obr. 6.2:** Výsledky destrukčních zkoušek a) zkouška stříhem b) odlupovací zkouška  
c) křížová zkouška tahem [10]

## 8. Realizace systému monitorování a zpracování dat parametrů u odporových metod svařování.

Katedra strojírenské metalurgie, obor svařování a pájení se již v minulosti zajímala o získávání procesních veličin při bodovém odporovém svařování. Zařízení, na němž se naměřené hodnoty měřily a získávaly, je nepřenosné. Jeho přesun by byl velice obtížný a instalování na daném pracovišti časově náročné. Lze si jen stěží představit, že s tímto zařízením půjde naměřit požadované veličiny v plném nebo i jen redukovaném provozu. Nákupem mobilního osciloskopu katedra získala základní jednotku mobilního pracoviště. Úkolem mé diplomové práce je realizace plně mobilní soustavy zařízení pro odečet procesních veličin za plného provozu, správné propojení soustavy, softwarového nastavení a zpracování získaných hodnot.

### 8.1.1 Pracovní zařízení

#### Pneumatická odporová svářečka WBLP40

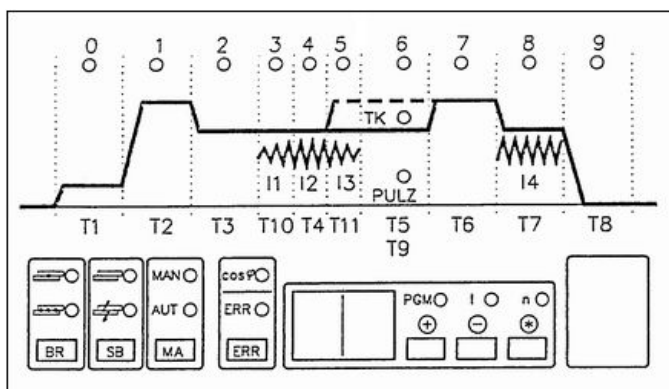
Pneumatická odporová svářečka WBLP40 nabízí dvojí využití:

**1. Bodová svářečka** s plynule měnitelným vyložení ramen od 250 do 450 mm při rozevření ramen od 100 do 340 mm plynulým přestavením dolního ramena. K ovládání slouží nožní ovladač.

**2. Svařovací lis.** Po namontování svařovacího přípravku na upínací desky slouží jako svařovací lis. Při tomto použití je nožní ovladač blokován a svařovací cyklus se spouští současným stlačením dvou ručních tlačítek

Stroj je vhodný pro sériovou výrobu, kde umožňuje vysokou efektivnost a produktivitu práce. Pohyb horní elektrody zajišťuje pneumatický válec. Přítlačná síla mezi elektrodami

je plynule regulovatelná v závislosti na nastavení tlaku vzduchu. Stroj je chráněn jističem s vypínací cívkou, který slouží současně jako hlavní vypínač. Mikroprocesorová řídicí jednotka umožňuje pomocí bezkontaktního modulu velmi přesné řízení výkonu, opakovatelné přednastavení 15-ti uživatelských svařovacích programů, dále ovládání ventilu chladicí vody nebo chladicí jednotky a kompenzaci vlivu změn napájecího napětí. Řídicí jednotka obsahuje také programy pro autodiagnostiku se zobrazením druhu poruchy na displeji, krokovou funkci proudu a volbu časového harmonogramu svařovacího cyklu (obr. 8.1.1). Na přání je možno stroj doplnit obvody pro spolupráci s externím počítačovým systémem (zadávaní, sběr a evidence svařovacích parametrů), popřípadě blokováním současného svařování několika strojů. Bodovka je vybavena výstupem pro automatické řízení chladicí jednotky Jesva [5].



**obr. 8.1.1:** Panel řízení odporové svářečky WBLP 40 [5]

kde úseky znamenají:

- 0... první přítlak
- 1... druhý přítlak
- 2... ustálení přítlaku
- 3... nárůst svahu
- 4... svařování
- 5... pokles svahu
- 6... puls
- 7... kování
- 8... žíhání
- 9... mezidoba

### Digitální osciloskop M221

Je počítačová karta zasunutá do ISA slotu stolního počítače. Její funkčnost je závislá na softwarovém nastavení a na výkonnosti hardwaru počítače. Se všemi ostatními komponenty, jako je klasický CRT monitor, klávesnice, myš, měřič proudu, lze usoudit, že se jedná o velmi těžce přenosná zařízení.

Dvoukanálový digitální paměťový osciloskop M221 poskytuje možnost měření časového průběhu napětí prostřednictvím dvou kanálů s rozlišovací schopností 256 bodů (8 bitů), přičemž citlivost kanálů je možno měnit v rozsahu 50mV až 2V na dílek obrazovky (celkem šest rozsahů). Vertikální poloha stopy osciloskopu má zaručenou chybovost méně jak 1% ze zobrazovaného rozsahu. Horizontální osa, tedy časová základna osciloskopu, je při měření periodických průběhů nastavitelná v rozsahu od 20ns/div do 2s/div (div=díl... tj část plochy zobrazované programem *Scope*, plocha se zobrazovanými průběhy je rozdělena na osmkrát osm dílů, v tomto případě se jedná o horizontální rozměr)

Osciloskop je vybavený dvěma A-D převodníky, které umožňují nezávislé měření obou kanálů, bez nežádoucích efektů. Délka záznamu údajů z každého kanálu je v optimálním případě 8 000 bodů. Zpracovávat je možné pouze 400 hodnot [5].

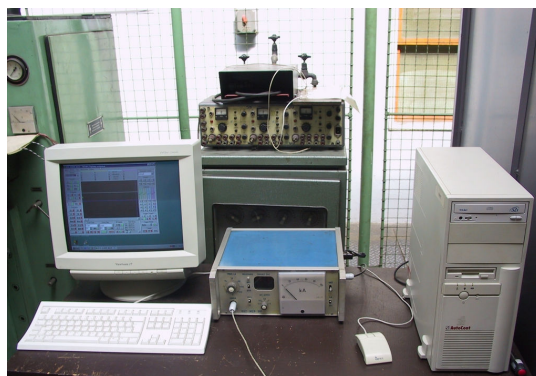
V případě zapojení dvou různých modulů M221 je možné realizovat osciloskop jako čtyřkanálový. Pro tuto práci bylo rozhodnuto o sestavení čtyřkanálového osciloskopu. Díky tomu bylo možné na jednom z kanálů měřit přímo rozdíl napětí na obou elektrodách, přičemž na dalších dvou kanálech musela být napětí na jednotlivých elektrodách měřená vůči zemi. Na poslední kanál byl připojen výstup z měřiče svařovacího proudu VÚZ MZP-201 a tento kanál tedy ukazoval časový průběh proudu. Hodnota proudu byla však osciloskopem stanovena ve stejných jednotkách jako měřené napětí, tedy ve [V], neboť software dodaný k osciloskopu nebyl schopen rozlišit jinou povahu vstupního signálu. Hodnoty proudu se tedy pro další zpracování musely přepočítat z [V] na odpovídající hodnotu v [A]. [5].

### Měřič svařovacího proudu VÚZ MZP-201

Standardní měřič proudu. Pro potřeby této práce byla důležitá možnost měřit s ním jak maximální, tak i efektivní hodnotu proudu [5].

### Osobní počítač Intel Pentium I

Počítač s postačujícím hardwarovým vybavením a potřebným softwarem (SCOPE M221, Excel). Uspořádání staršího měřícího pracoviště je na obrázku 8.1.2.



**obr. 8.1.2:** Původní (nepřenosné) pracoviště, počítač a VÚZ MZP-201 [5]

#### Digitální paměťový osciloskop M524

Dvoukanálový osciloskop (*obr. 8.1.3*) připojitelný přes USB 1.1 a USB 2.0. Jednoduchost instalace a připojení k počítači vytváří z M524 přístroj vhodný pro mobilní použití. Zařízení je připojitelné k počítači standardním USB kabelem a je napájeno přímo z něj. Díky maximální spotřebě 2.25W je přístroj vhodný k použití s přenosným počítačem napájený baterií.

Vstupy osciloskopu jsou tvořeny BNC konektory a jsou kompatibilní se standardními sondami (s minimálním kompenzačním rozsahem 32 pF). Vnitřní paměť (8K pro každý kanál) je používána jako vyrovnávací paměť (obdoba cache v počítači) na uložení naměřených průběhů. Vysoká přenosová rychlost umožňuje časté obnovování obrazovky, tím se vytváří dojem analogového osciloskopu. K dispozici jsou čtyři režimy sběru dat (Auto, Normal, Single, Manual). Spouštění je řízeno dvojím spouštěcím systémem vybaveným digitálním filtrem impulsů a čítačem výskytů na každé úrovni. Kanál A, kanál B je možné nastavit v rámci celé obrazovky osciloskopu. Práh externího vstupu je nastavený na přibližně 1.5V, což umožňuje synchronizaci s komplikovanými průběhy. V režimu zobrazení 1:1 je časová základna nastavitelná od 5 ns/div do 100 ms/div s krokem 1-2-5. S využitím jiných režimů zobrazení je možné nastavit časovou základnu od 500 ps/div do 1.6 s/div [26].



**obr. 8.1.3:** Přenosný osciloskop M524 [26]



### Měřicí sonda k osciloskopu

Aby bylo měření co nejpřesnější, přenos průběhů zajišťovala odstíněná dvousvazková sonda z koaxiálního kabelu. Uvnitř sondy je dvojí vedení, pro živý konec a pro zem. Tato skutečnost mi umožňuje využít sondu ke stejnému principu měření, kterým měří voltmetr. Jeden kanál osciloskopu je pak neobsazen.

### Multifunkční měřič Miyachi MM-356B

Přístroj MM-356B (*obr.8.1.4*) slouží k určení svařovacího proudu, svařovacího napětí, svařovací síly a svařovacího času. Rovněž může být měřen čas přitlaku a čas působení elektrodové síly. Veličiny svařovacího proudu, napětí a síly však mohou být určeny pouze v následujících dvou konfiguracích:

- měřením svařovacího proudu a svařovacího napětí zároveň
- měřením zkratového proudu a svařovací síly zároveň

Přístroj může mít v paměti více než 150 000 hodnot výsledků ve 4 000 větách. Potřebné výsledky mohou být okamžitě vytištěny integrovanou tiskárnou, případně pomocí speciálního převodníku a přes standardní sériové rozhraní exportovány do připojeného PC.

Nevýhodou tohoto přístroje je špatně viditelné vykreslení průběhů svařovacího napětí a proudu. Displej je vyroben z tekutých krystalů a jeho jemnost byla pro další zpracování dat nevyhovující. Orientace po vytištění průběhů svařovacích parametrů na štoček o šířce přibližně 60 mm je velmi obtížná. Přístroj však umožňuje propojení s externím zařízením, například s osciloskopem, který se propojí s danými piny na výstupu a záznam lze zobrazovat, zpracovávat a uchovávat skrze toto externí zařízení [5].



**obr. 8.1.4:** Měřič svařovacího proudu MM-356B [5]

### 8.1.2 Řešení pomocí operačního zesilovače

Předešlý osciloskop M221 je čtyřkanálový. Požadovaný průběh se získává tak, že se odečítají elektrické potenciály sond umístěné na elektrodách vůči stejnému bodu uzemnění. První sonda je umístěna na horní elektrodě a druhá sonda na dolní elektrodě, čímž je patrné, že každá má jiný elektrický potenciál. Tyto sondy jsou přivedeny na první a druhý kanál osciloskopu, jejichž rozdílné potenciály software osciloskopu dokáže odečíst a získat samostatný průběh. Na třetí kanál osciloskopu je přivedeno napětí získané z indukce procházejícího proudu cívkou (objímkou). Tím máme obsazené tři kanály ze čtyř a vše vyhovuje.

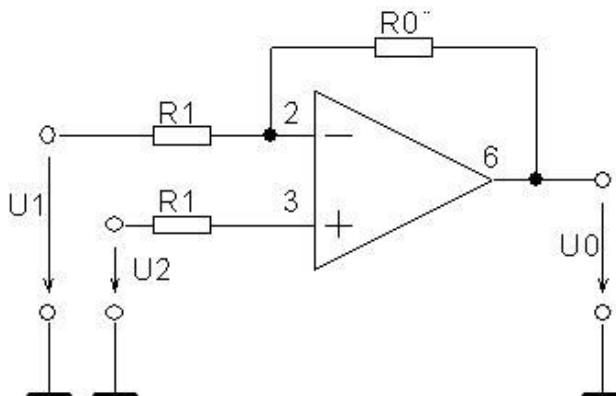
Nový osciloskop M524 je dvoukanálový, tudíž nastala otázka, že jeden kanál bude při měření scházet. Máme dva různé elektrické potenciály ze sond a indukované napětí. Po zjištění všech názorů, jsem začal řešit problém následovně. Aby se ušetřil jeden kanál osciloskopu, bylo potřeba odečíst elektrické potenciály ze sond mimo osciloskop a přivést již odečtený signál. To znamenalo realizaci samostatného elektronického zařízení pro odečet napětí, jak stejnosměrného, tak střídavého. Elektronická součástka, která tuto funkci umožňuje, se jmenuje operační zesilovač a s příslušným zapojením umí odečítat napětí. Tudíž jsem tuto myšlenku začal realizovat.

#### Operační zesilovač

Je aktivním prvkem, který může při vhodném zapojení vnější sítě součástek plnit různé funkce a operace, čímž se liší od „obyčejného“ zesilovače, který má určitý vstupní a výstupní odpor, konečné zesílení, frekvenční přenosové pásmo atd. Aby byl použitelný pro zmíněné aplikace, musí vynikat především v těchto parametrech [27].

- velké napěťové zesílení v otevřené smyčce ideálně  $\infty$  velké
- vysoký vstupní a nízký výstupní odpor (ideálně  $\infty$  a 0 ohmů)
- velký rozsah přenášených frekvencí (ideálně 0 až  $\infty$  Hz)
- stálost parametrů
- malá vlastní spotřeba (mW)
- malý drift výstupního signálu (v čase i s teplotou)
- velké společné napětí vstupů a potlačení společného signálu
- odolnost proti vlastním kmitům, možnost frekvenční kompenzace

S těmito parametry jsem vyhodnotil, že použiji součástku LM741, která splňovala všechna kritéria. Elektronické zapojení součástek, které umí odečíst napětí je na *obr. 8.1.5* a nazývá se diferenční zesilovač (rozdílný zesilovač).



**obr. 8.1.5:** Diferenční zesilovač

Toto zapojení vytváří na výstupu signál úměrný rozdílu napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem. Odpory  $R_1$  na obou vstupech musí být stejné, aby byly vytvořeny stejné vstupní podmínky pro obě napětí, a tím se dosáhlo co největšího činitele potlačení součtového signálu [27].

Pro výstupní napětí platí:

$$U_0 = \frac{R_0}{R_1} (U_2 - U_1) \quad (6)$$

$U_0$ ...výstupní napětí	[V]
$U_1$ ...první vstupní napětí	[V]
$U_2$ ...druhé vstupní napětí	[V]
$R_0$ ...zpětnovazební odpor	[ $\Omega$ ]
$R_1$ ...vstupní odpor	[ $\Omega$ ]

Velikost odporů určuje stupeň zesílení či zeslabení výstupního napětí. Jestliže platí  $R_0 = R_1$  podíl odporů je jedna, a tudíž nedochází k zesílení či zeslabení výstupního signálu. Pokud by byl poměr mezi odpory jiný, v prvním případě menší než nula, bude výstupní signál zeslabený, v druhém případě větší než nula, bude výstupní signál zesílený.

Zapojení se součástkou LM741 jsem nejdříve podrobil simulaci, abych se ujistil, že obvod bude plnit danou funkci. Simulace byla prováděna v programu Electronics

Workbench. Program obsahuje databázi pouze amerických norem, proto se výkresy odporů liší v této závislosti.

Simulace byla provedena v napětových a frekvenčních rozmezích, které jsou typické pro pracoviště. Větší hodnoty, než simulované, by se při bezporuchovém stavu neměly vyskytnout.

*Nastavení generátoru:*

frekvence	50 Hz
pracovní cyklus	25 %
max. amplituda	25 V

*Nastavení osciloskopu:*

kanál A	10 V/div
kanál B	10 V/div
časová základna	5.00 ms/div

Kombinace jednoho zdroje napětí s děličem napětí umožní získat odlišné hodnoty napětí se stejným fázovým posunem. Napětí, která mají stejný fázový posun, se dobře odečítají. Kombinace zdroje a děliče napětí je na *obr. 8.1.6*. Hodnoty odporů děliče jsou  $R_2=20\ \Omega$  a  $R_3=30\ \Omega$ . Simulaci lze ověřit výpočtem.

*Ověření výpočtem:*

$$R_0=1k\Omega; R_1=1k\Omega; R_2=20\Omega; R_3=30\Omega; U_C=25V$$

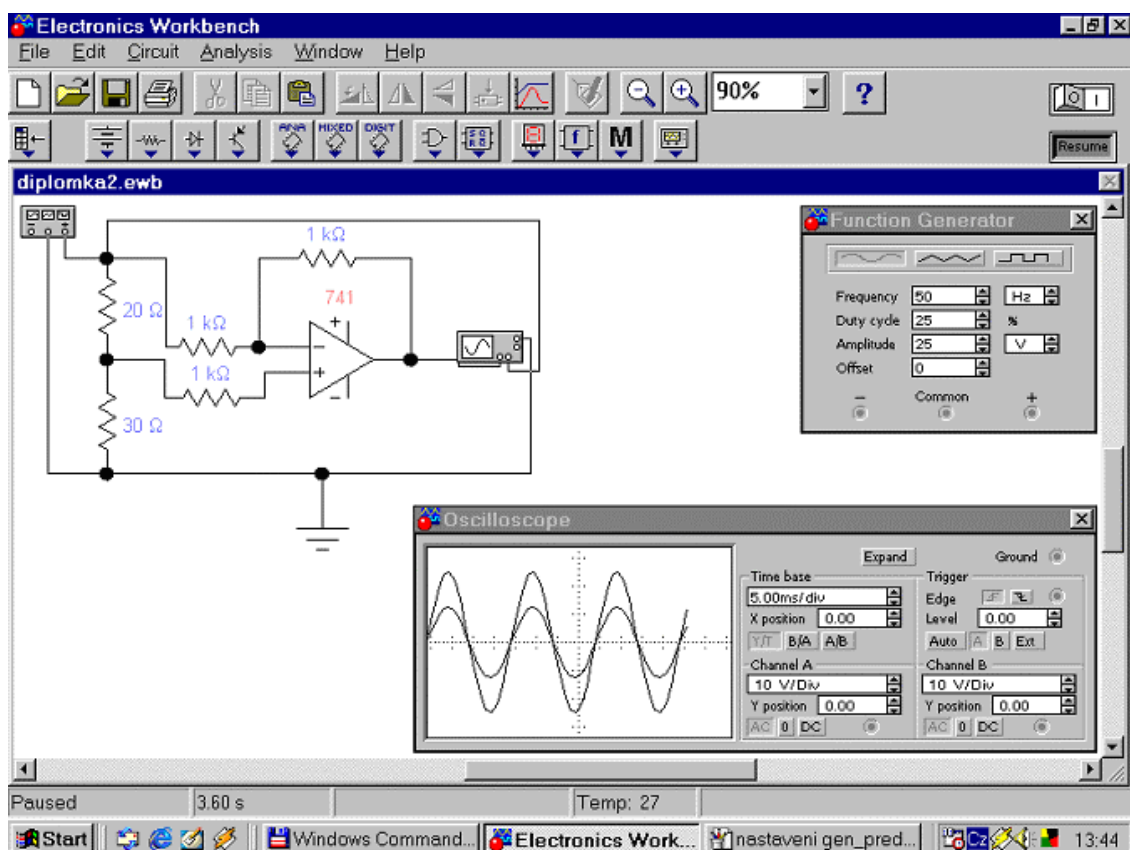
$$\text{napětí } U_2 \text{ na odporu } R_2: \quad U_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot U_C = \frac{20}{20 + 30} \cdot 25 = 10V$$

$$\text{výstup dle schématu:} \quad U_0 = U_C - U_2 = 25 - 10 = 15V$$

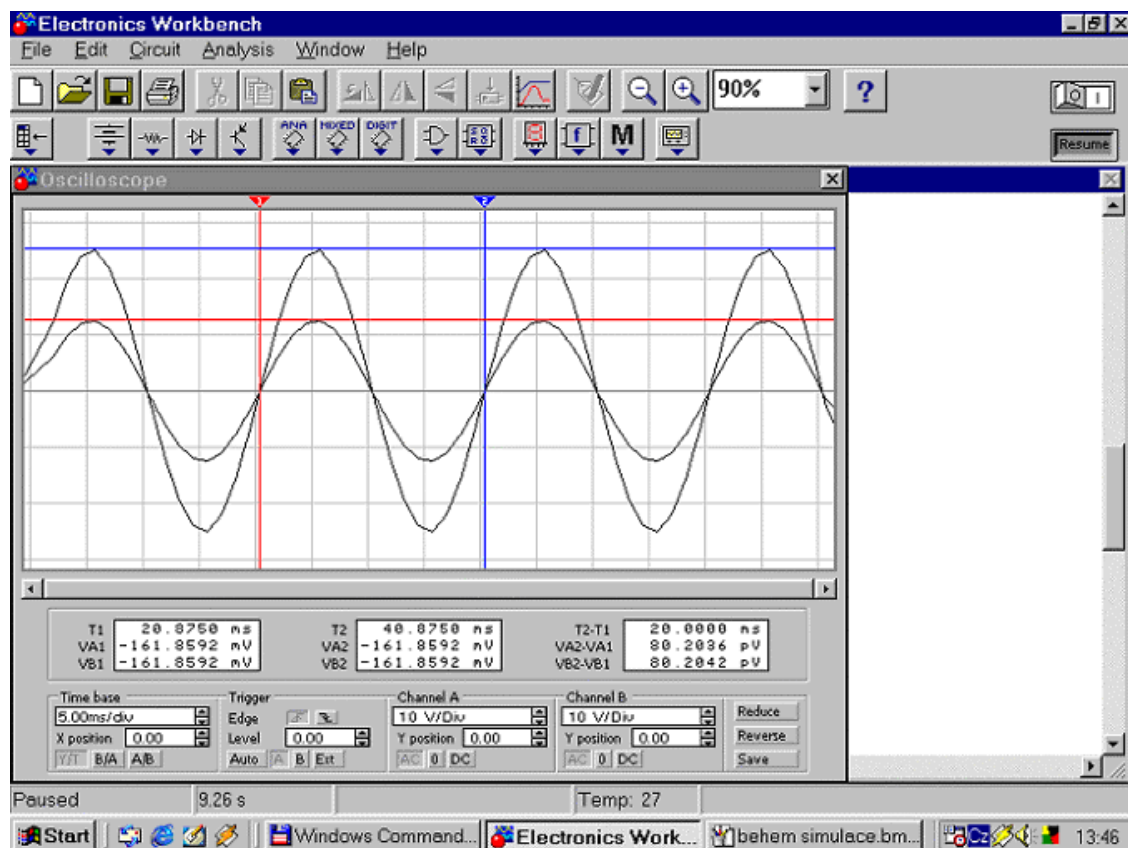
$$\text{zesílení:} \quad U_0 = \frac{R_0}{R_1} (U_C - U_2) = \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} (25 - 10) = 15V$$

$$\text{frekvence:} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4.5 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{0,02} = 50Hz$$

Z obrázků 8.1.6 a 8.1.7 je vidět zapojení obvodu, generátoru, osciloskopu a jejich podrobné nastavení. Průběh na kanálu A je na maximální hodnotě 25 V a odečet signálů, kanál B je na 15 V. Po prostudování detailu osciloskopu je zřejmé, že se simulace zdařila.



obr. 8.1.6: Simulace obvodu diferenčního zesilovače

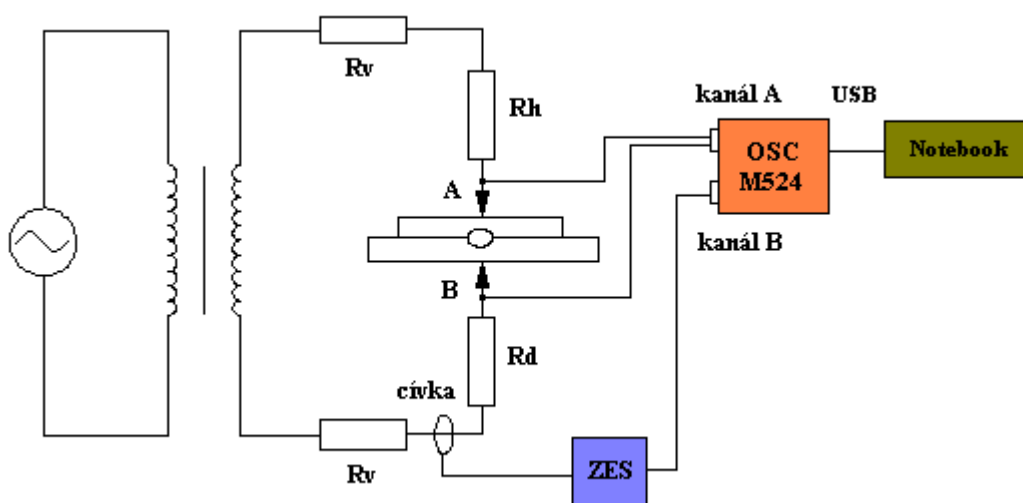


obr. 8.1.7: Detail průběhů osciloskopu

Po zakoupení součástek, odporů, operačního zesilovače LM741 a jejich zapojení do nepájivého pole se bohužel vyskytly problémy. Docházelo k přehřívání integrovaného obvodu a výsledný rozdíl napětí se nepotvrdil, a to jak pro střídavý signál, tak ani pro stejnosměrný. Příčina je, že software při simulaci bere dokonale galvanicky oddělené kanály zesilovače. V praxi tomu tak není, zpracovávané signály integrovaným obvodem galvanicky odděleny nejsou. Aby došlo k rozdílu napětí, muselo by se realizovat zařízení s oddělenými vstupy a se speciálním napájením operačního zesilovače. Výroba zařízení by byla neúměrně finančně nákladná. Po konzultaci jsem začal hledat optimálnější řešení.

### 8.1.3 Řešení s využitím dvousvazkové sondy

Po pečlivém zjišťování funkcí osciloskopu a jeho příslušenství jsem našel možnost využít funkce dvousvazkové sondy. Tato sonda se po zapojení na měřené místo chová jako dva měřicí kabely z voltmetru. To mě umožnilo měřit elektrický potenciál přímo mezi body A a B, bez uzemnění kanálů na společnou zem. Princip měření lze vidět na náhradním elektrickém schématu *obr. 8.1.8*.



**obr. 8.1.8:** Náhradní blokové schéma zapojení

$R_h$ ...odpor horní elektrody

$R_d$ ...odpor dolní elektrody

$R_v$ ...odpor vodičů (měděných desek)

ZES...zesilovač indukovaného napětí

OSC...osciloskop M524

Při měření platí pravidlo, čím jsou konce sond blíže k sobě, získaný elektrický potenciál je přesnější a tím jsou přesnější informace o svařovacím napětí. Nejpřesnější měření je tehdy, pokud jsou sondy na špičce elektrody. K získání informace o velikosti proudu jsem použil opět cívku, připojenou na kanál B osciloskopu ve formě nerozebratelné objímky, v níž se indukují napětí po průchodu proudem.

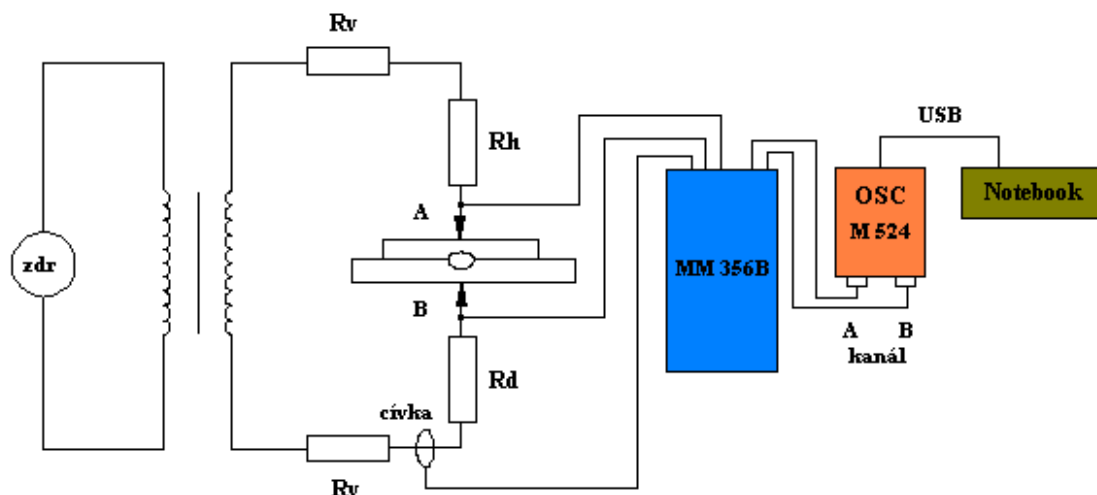
Tento postup běžně používají elektrotechnici při měření signálů ve slaboproudé elektrotechnice. Ke zjištění velikosti proudu se využívá klešťový ampérmetr s analogovým výstupem, který umí komunikovat s osciloskopem. Bohužel pro mé měření byly rozsahy ampérmetrů malé a ani jeden z nabízených na trhu nevyhověl mému požadavku. Skutečnost, že se bude rozebírat některé rameno bodové svářečky v provozu za účelem nasunutí nerozebratelné objímky je nepředstavitelná. Tuto skutečnost lze využít pouze v laboratorních podmínkách, kde je objímka trvale nasunuta na rameno svářečky.

#### **8.1.4 Řešení pomocí multifunkčního měřiče**

Pro stanovení svařovacích parametrů a jejich vyhodnocení jsem nakonec použil multifunkční měřič Miyachi MM-356B v kombinaci s přenosným osciloskopem ETC-M524 připojeného do přenosného počítače přes rozhraní USB. Multifunkční měřič je vybaven informačním displejem. Displej má však hrubé rozlišení, proto propojení osciloskopu a notebooku umožnilo zobrazit výsledné průběhy v lepší kvalitě. Zobrazení průběhu napětí a proudu je dobře čitelné a dobře měřitelné.

Uložení záznamu procesních veličin probíhá v multifunkčním přístroji hned při procesu svařování, avšak pro rychlou analýzu můžeme využít pouze špatně viditelný průběh vykreslený na displeji. Naměřené hodnoty jsou základním stavebním prvkem pro tvorbu grafů, tabulek v tabulkových programech. Jejich export z MM-356B do počítače je možný pouze přes rozhraní RS-232, kterým dnešní přenosné počítače již nedisponují. Propojení s osciloskopem přináší nejen výhodu v kvalitním zobrazení průběhů, ale software k osciloskopu M524 umožní okamžitý export hodnot do přenosného počítače k dalšímu okamžitému zpracování. K dispozici je několik druhů uložení dat. V ovládacím softwaru lze nastavit uložení naměřených hodnot v [mV] nebo [V] v závislosti na čase. Časovou základnu lze nastavit v [s] nebo v [μs]. Dále lze ukládat v kvantizačních úrovních nebo jako textový soubor (výchozí data pro tabulkové programy) a nechybí ani možnost uložení jako obrázkový záznam průběhů (obdobu printscreen).

Rychlejší orientaci realizovaného pracoviště umožňuje náhradní blokové schéma (obr. 8.1.9). Z tohoto schématu lze vidět, že základním měřicím prvkem je multifunkční zařízení. K němu připojený osciloskop společně s přenosným počítačem tvoří vyhovující zobrazovací a datovou jednotku. Pokud by ve výjimečném případě došlo k poruše multifunkčního zařízení, lze postupovat nouzovým postupem podle schématu na obr. 8.1.8.



**obr. 8.1.9:** Náhradní blokové schéma zapojení s MM-356B

$R_h$ ...odpor horní elektrody

$R_d$ ...odpor dolní elektrody

$R_v$ ...odpor vodičů (měděných desek)

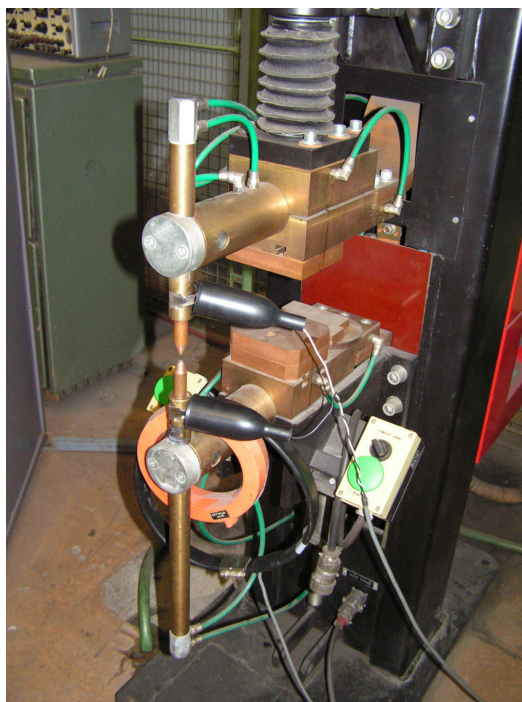
MM – 356B...multifunkční měřič

OSC...osciloskop M524

zdr...napětí 400V

Součástí přístroje MM – 356B jsou mimo jiné dvě kleštiny, které se dají bez větších problémů uchytit na elektrody bodové svářečky (obr. 8.1.10). Tudíž odpadá problém uchycení sond, jenž byl u předešlé metody měření parametrů trochu nešikovný, neboť šlo velmi snadno sondu poškodit. V praxi to je velká výhoda, protože se nemusí hledat vhodný úchytný prvek pro sondu. Sonda je velmi jemné konstrukce a zakopnutí o její kabel a vytrhnutí by mohlo sondu nenávratně poškodit a zastavit měření.

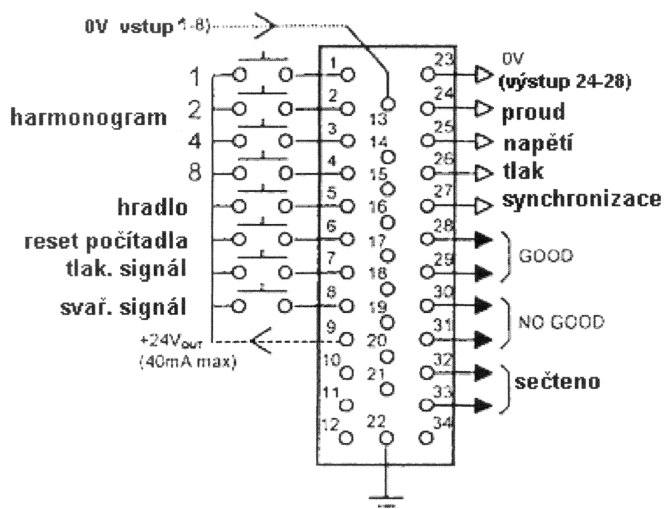




**obr. 8.1.10:** Kleštiny přístroje MM – 356B s cívkou

#### **Detail a technické specifikace připojení osciloskopu**

Na zadní straně multifunkčního přístroje se nalézají I/O zásuvka (input/output), která umožňuje komunikaci s externími zařízeními. Každou veličinu, kterou přístroj měří, také převádí na elektrický signál, který přes tuto zásuvku lze změřit a uchovat. Rozmístění jednotlivých pinů na I/O zásuvce je vidět na obrázku 8.1.11.

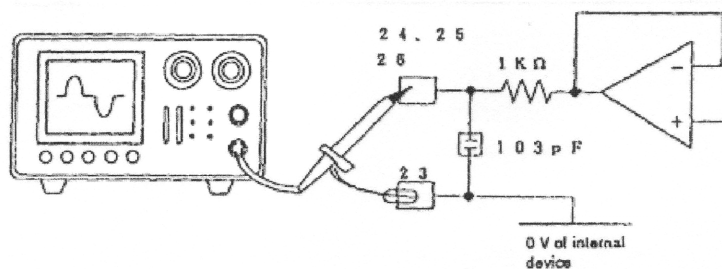


**obr. 8.1.11:** I/O zásuvka přístroje MM-356 [5]

Zařízení zpracovává vstupní signály během doby, kdy je aktivováno jiné zobrazení. Vstupní signály jsou na levé straně zásuvky. Pokud se používají signály kontaktů čísla 1 – 8, potom se na kontakt č. 9 musí přivést stejnosměrné napětí o velikosti 24V a min. 100 mA. Na pravé straně zásuvky jsou výstupní časové průběhy, které umožňují měření průběhu svařovacího proudu, průběh napětí, průběh síly nebo tlaku a průběh synchronizace. Na kontaktech č. 28 – 31 jsou kontrolní výstupy, při jejichž zapojení můžeme ověřit správnost naměřené hodnoty.

### Výstupy časových průběhů

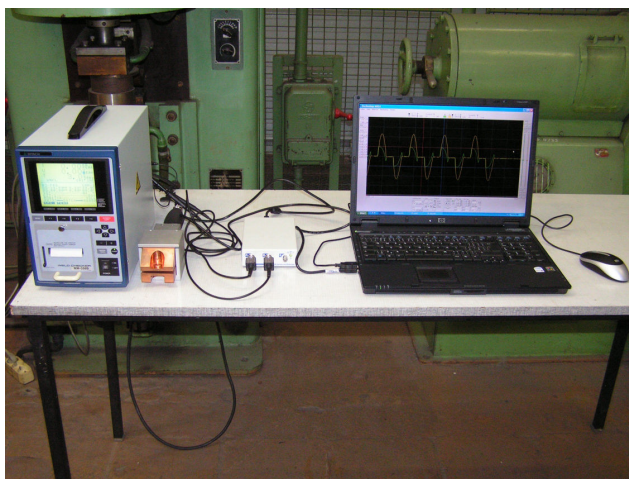
- (Kontakt č. 23) 0 V (je v přístroji uzemněn)
- (Kontakt č. 24) Průběh svařovacího proudu
- (Kontakt č. 25) Průběh napětí
- (Kontakt č. 26) Startovní signál svařovacího procesu
- (Kontakt č. 27) Signál synchronizace



**obr. 8.1.12:** Připojení osciloskopu [5]

Protože je kontakt č. 23 v přístroji uzemněn, k zamezení chybných signálů se proto nedoporučuje spojovat vodiče do svazku s jinými kabely vedoucími v ně přístroje. Mohlo by dojít k uzemnění kabelů k jiné zemi a tím by se vytvořil chybný elektrický potenciál. Aby se dostaly správné elektrické potenciály, relevantní k měření, MUSÍ být vždy zemnicí kanál sondy připojen na kontakt č. 23. Vztažná zem na kontaktu č. 23 je pouze pro výstupní kontakty č. 24 – 27 (*obr. 8.1.12*).

I/O zásuvka je typu samička, proto jsem musel vyrobit úchytné kontakty z měděného drátu o průměru 1mm, které lze snadno zasunout do jednotlivých pinů zásuvky a započít měření. Pro připojení více zemnicích kanálů sond, jsem vytvořil uzemňovací vidlici, která postačuje měřicím požadavkům. Propojení všech zařízení podílejících se na měření je na obrázku 8.1.13. Toto uspořádání je konečný výsledek.



**obr. 8.1.13:** Mobilní měřicí pracoviště

## 8.2 Materiál pro experiment

Byl zvolen materiál, který se používal v disertační práci Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohliníkových ocelových plechů [4]. Výsledky z měření se budou moci porovnat s výsledky disertační práce.

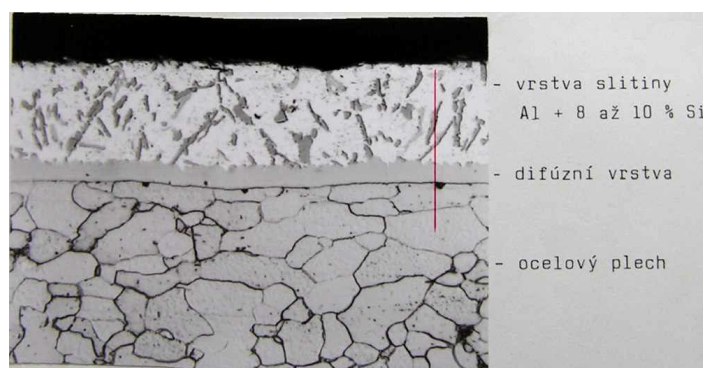
Použil jsem plechy od firmy THYSSEN typ fal 1 (*obr 8.2.1*). Plechy fal 1 mají povlak ze slitiny Al + 8 až 10 % Si a používají se především v korozním prostředí se zvýšenými teplotami. K dispozici byly plechy s tloušťkou 0,8 mm. Plechy fal 1 se vyrábějí v pěti skupinách podle množství naneseného kovu na jednotku plochy povrchu a to 80, 100, 120, 150 a 200 g.m<sup>-2</sup> oboustranně. Základní ocelový plech se vyrábí v pěti jakostech z měkké nelegované oceli (označení A1, Bu, Bg, C, D), ve třech jakostech ze stavebních ocelí (označení L1, M1, N1) a jedné jakosti zvláštní (označení S1). Specifikace jednotlivých jakostí je následující [4]:

- A1 - základní jakost
- Bu - tažný
- Bg - hlubokotažný
- C - hlubokotažný odolný proti stárnutí
- D - zvláště hlubokotažný a odolný proti stárnutí
- L1 - 250 AI (mez kluzu min. 250 N.mm<sup>-2</sup>)
- M1 - 280 AI (mez kluzu min. 280 N.mm<sup>-2</sup>)
- N1 - 320 AI (mez kluzu min. 320 N.mm<sup>-2</sup>)
- S1 - mikrolegovaná ocel se zvýšenou pevností a mezí kluzu za zvýšených teplot.

**Tab. 8.2.1** Mechanické vlastnosti základního materiálu [4]

základní materiál	Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]
plech tl. 0,8 mm	367	274	33

Ocelový plech má prakticky čistě feritickou strukturu s ojedinělými útvary terciálního cementitu na hranicích zrn. Povlak má strukturu obdobnou jako podeutektický silumin [4].



**obr. 8.2.1:** Struktura základního materiálu a povlaku [4]

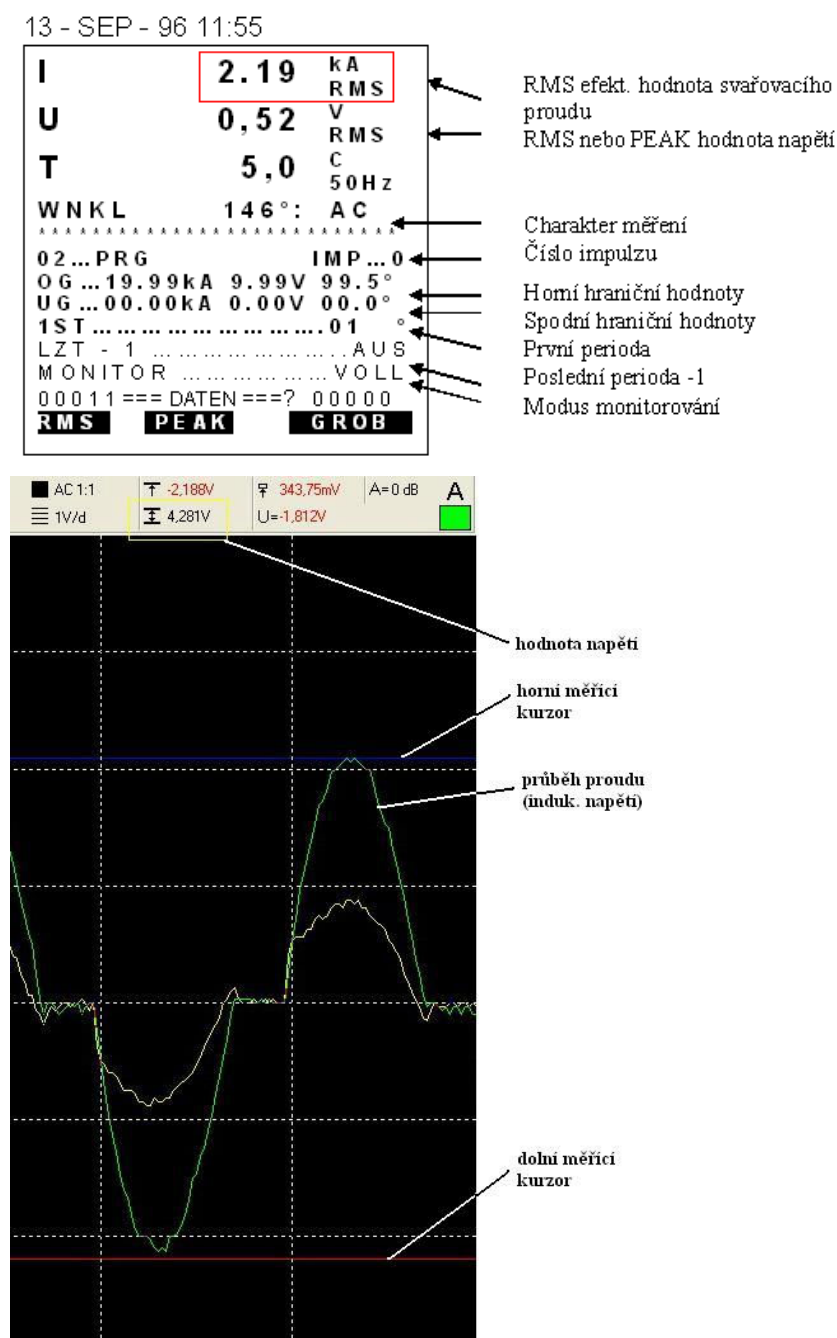
### 8.3 Změření procesních veličin a stanovení přepočtového koeficientu

Ke zjištění odlišností průběhů svařovacího proudu a napětí jsem provedl 505 svarů. Svary opotřebily špičky elektrod a tím došlo ke změně hodnot procesních veličin. Provedené svary jsem rozdělil do šesti skupin po sto svarech. Z každé skupiny jsem vybral jeden vzorek, jehož data jsem použil pro vykreslení průběhu svařovacího proudu a napětí. Srovnáním průběhů vzorků z jednotlivých skupin lze pozorovat, jak se mění procesní veličiny v závislosti na počtu svarů. Pro srovnání jsem pořídil tištěné záznamy z přístroje Miyachi, který disponuje interní tiskárnou.

Funkční nastavení softwaru osciloskopu je vidět v příloze 1. Vysvětlení jednotlivých funkcí je důkladně popsáno v příručce pro uživatele. Spojení přílohy 1 s příručkou uživatele k osciloskopu se docílí rychlého znovu nastavení i pro uživatele, který ještě s osciloskopem neměřil.

Svařovací proud se měří pomocí cívky, proto je výsledný průběh indukované napětí, odpovídající průběhu proudu. Měřit průběh proudu o velikosti několika [kA] je nemožné, proto je tento postup běžný. Aby se dostaly skutečné hodnoty proudu, musí se stanovit přepočtový koeficient. Tento koeficient lze stanovit empiricky, pokud není poskytnut přímo od výrobce. Empirické stanovení přepočtového koeficientu se dělal následovně. Po zobrazení průběhu proudu (ve skutečnosti indukovaného napětí) na displeji

osciloskopu jsem změřil velikost napětí mezi nejvyšším a nejnižším bodem průběhu z důvodu největší přesnosti. Zároveň jsem zapsal velikost proudu změřeného přístrojem Miyachi (*obr. 8.3.1*). Přístroj, pokud není nastaven jinak, zobrazuje efektivní hodnotu proudu. Tuto hodnotu jsem použil pro stanovení koeficientu. Po zjištění těchto dvou nezbytně nutných čísel pro výpočet, jsem vydělil hodnotu získanou z přístroje Miyachi hodnotou získanou z osciloskopu. Výsledný poměr je bezrozměrný. Provedením více měření, bude jejich průměr limitovat k přesnější hodnotě. Vypočtené koeficienty a jejich průměr jsou v tabulce 9.1.



**obr. 8.3.1:** Získání hodnot pro výpočet přepočtového koeficientu

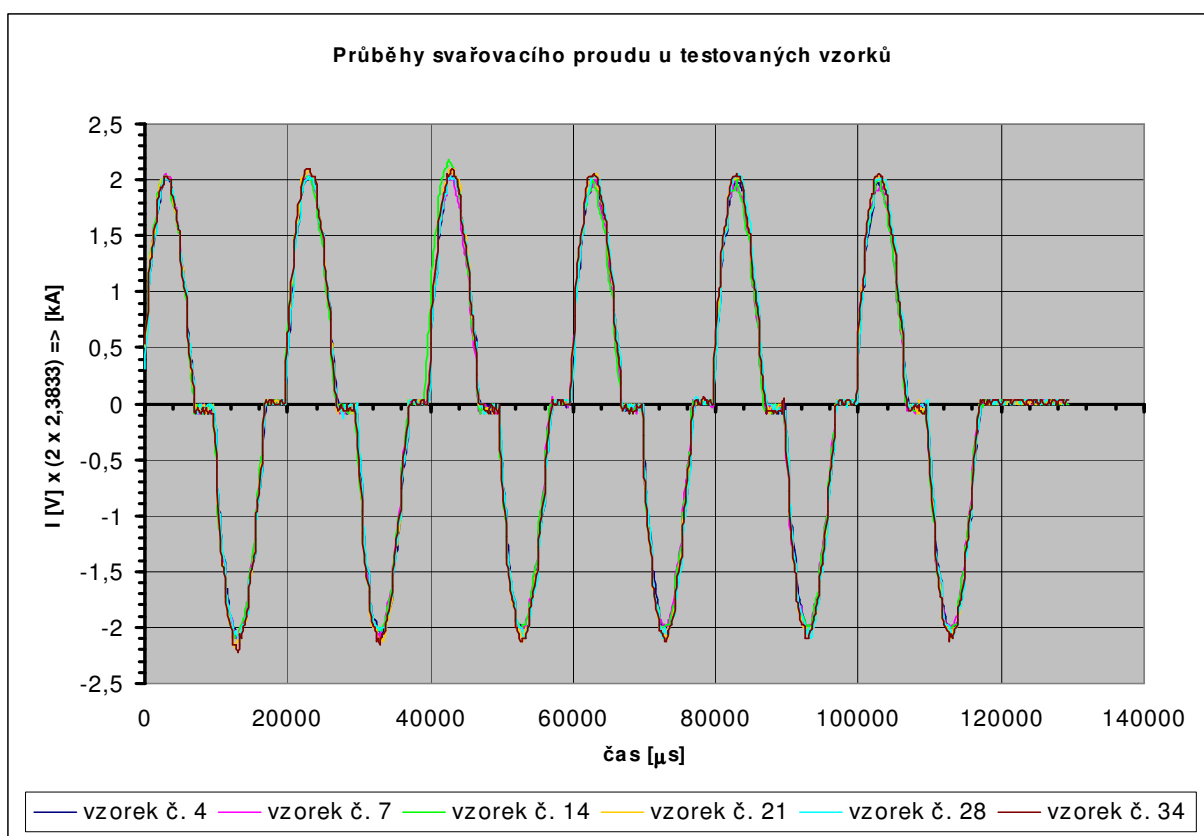
## 9. Vyhodnocení měření

**Tab. 9.1:** Svařovací parametry s vypočteným přepočtovým koeficientem

Svařovací parametry s vypočteným přepočtovým koeficientem						
číslo vzorku	pořadí bodu	napětí mezi elektrodami	svařovací proud I <sub>ef</sub>	svařovací čas	napětí mezi max. a min. bodem průběhu	přepočtový koeficient
[-]	[-]	U[V]	[kA]	[per]	[V]	[-]
1	50.	1,02	10,25	5	-	-
2	51.	1,06	10,16	5	4,1563	2,4445
3	52.	1,09	9,98	6	4,3125	2,3142
4	53.	1,10	10,06	6	4,1250	2,4388
5	54.	1,10	10,25	6	4,2188	2,4296
6	55.	1,13	9,88	5	4,1250	2,3952
7	100.	1,16	9,98	5	4,1563	2,4012
8	101.	1,15	9,65	6	-	-
9	102.	1,18	9,88	6	-	-
10	103.	1,15	9,93	6	4,1563	2,3892
11	104.	1,16	9,82	6	-	-
12	105.	1,17	9,89	6	-	-
13	106.	1,15	9,87	6	4,0938	2,4110
14	200.	1,16	9,88	6	4,3125	2,2910
15	201.	1,17	9,83	6	-	-
16	202.	1,14	9,71	6	4,0625	2,3902
17	203.	1,15	9,72	6	-	-
18	204.	1,18	9,97	6	4,1875	2,3809
19	205.	1,16	9,97	6	-	-
20	206.	1,16	9,85	6	-	-
21	300.	1,14	9,89	6	4,2813	2,3101
22	301.	1,16	9,98	6	4,1563	2,4012
23	302.	1,16	9,87	6	-	-
24	303.	1,09	9,95	6	-	-
25	304.	1,12	10,22	6	4,3125	2,3699
26	305.	1,14	10,19	6	4,4375	2,2963
27	306.	1,15	10,32	6	4,5000	2,2933
28	400.	1,07	10,12	6	4,1563	2,4349
29	401.	1,07	10,16	6	4,1875	2,4263
30	402.	1,07	10,10	6	4,2188	2,3941
31	403.	1,09	10,22	6	-	-
32	404.	1,07	10,15	6	4,3438	2,3367
33	405.	1,08	10,24	6	4,2188	2,4273
34	500.	1,09	10,29	6	4,3125	2,3861
35	501.	1,12	10,39	6	4,3125	2,4093
36	502.	1,09	10,26	6	4,3125	2,3791
37	503.	1,09	10,34	6	4,3125	2,3977
38	504.	1,11	10,21	6	4,2813	2,3848
39	505.	1,10	10,12	6	4,1875	2,4167
						2,3833
Legenda:						
	testované vzorky					
	průměrná hodnota					
	nestanoveno -					

V tabulce 9.1 jsem stanovil hodnotu přepočtového koeficientu dle principu, který je vysvětlen v kapitole 8.3, přesněji dle *obr. 8.3.1 Získání hodnot pro výpočet přepočtového koeficientu*. Jak již bylo vysvětleno, osciloskop měří vše ve voltech, tudíž stanovení hodnot proudu v [kA] jsem provedl přepočtem pomocí koeficientu. Na ose „Y“ (*graf. 9.1*) je popisek  $I [V] \times (2 \times 2,3833) \Rightarrow [kA]$  tzn., proud zobrazený ve voltech \* (2 (dvě půlvlny, kladná a záporná)) \* 2,3833 (koeficient)) je výsledek v [kA].

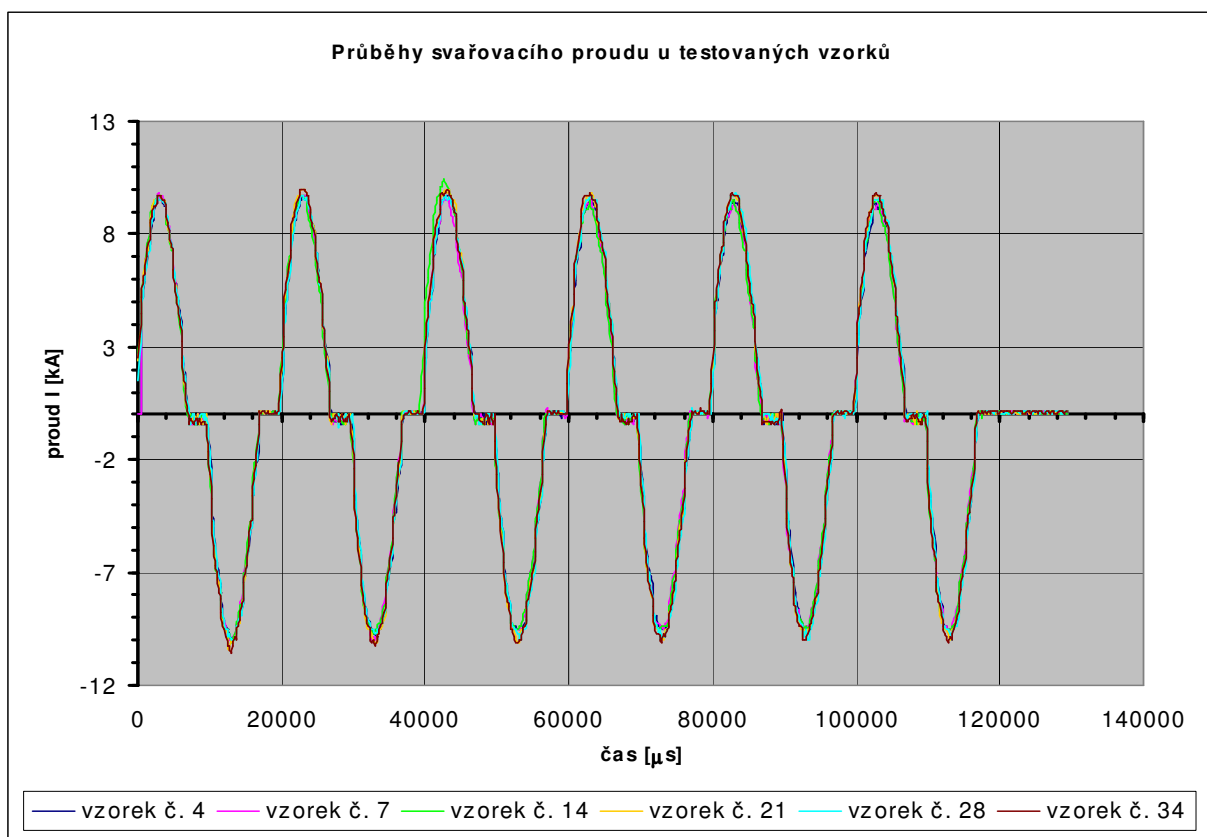
**Graf 9.1:** Průběhy svařovacího proudu u vzorků č. 4, 7, 14, 21, 28, 34



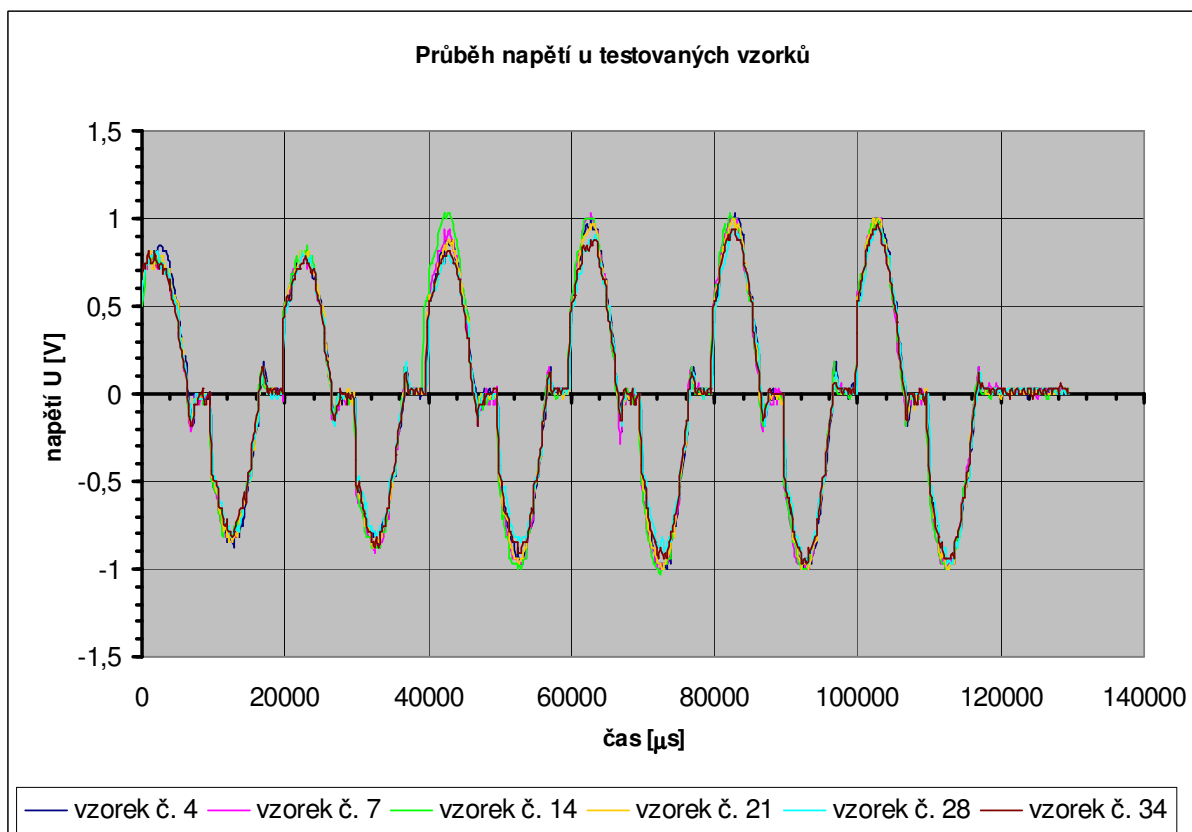
Průběhy svařovacích proudů a napětí nezačínají v nule. To je způsobeno tím, že osciloskop čeká na spouštěcí událost, která spustí měření. Z grafů lze vidět, že spouštěcí událost byla nastavena na hodnotu přibližně 250 mV. V následujícím grafu 9.2 je již průběh proudu v kA přepočítaný pomocí koeficientu.



**Graf 9.2:** Průběhy svařovacího proudu u vzorků č. 4, 7, 14, 21, 28, 34



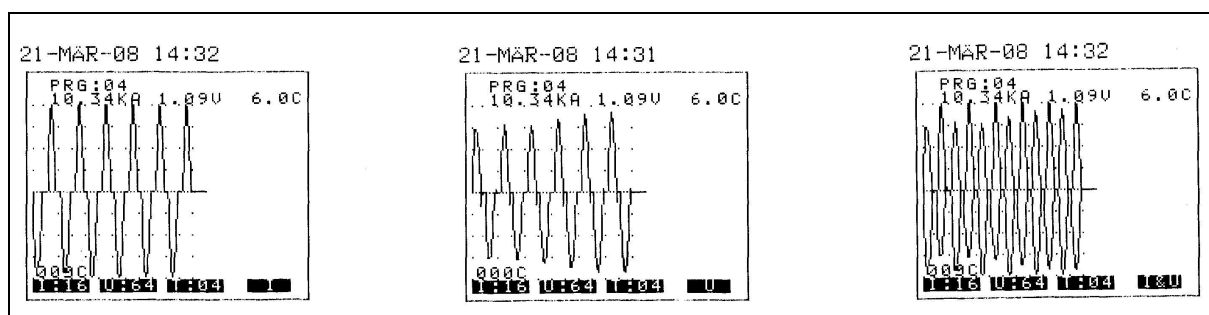
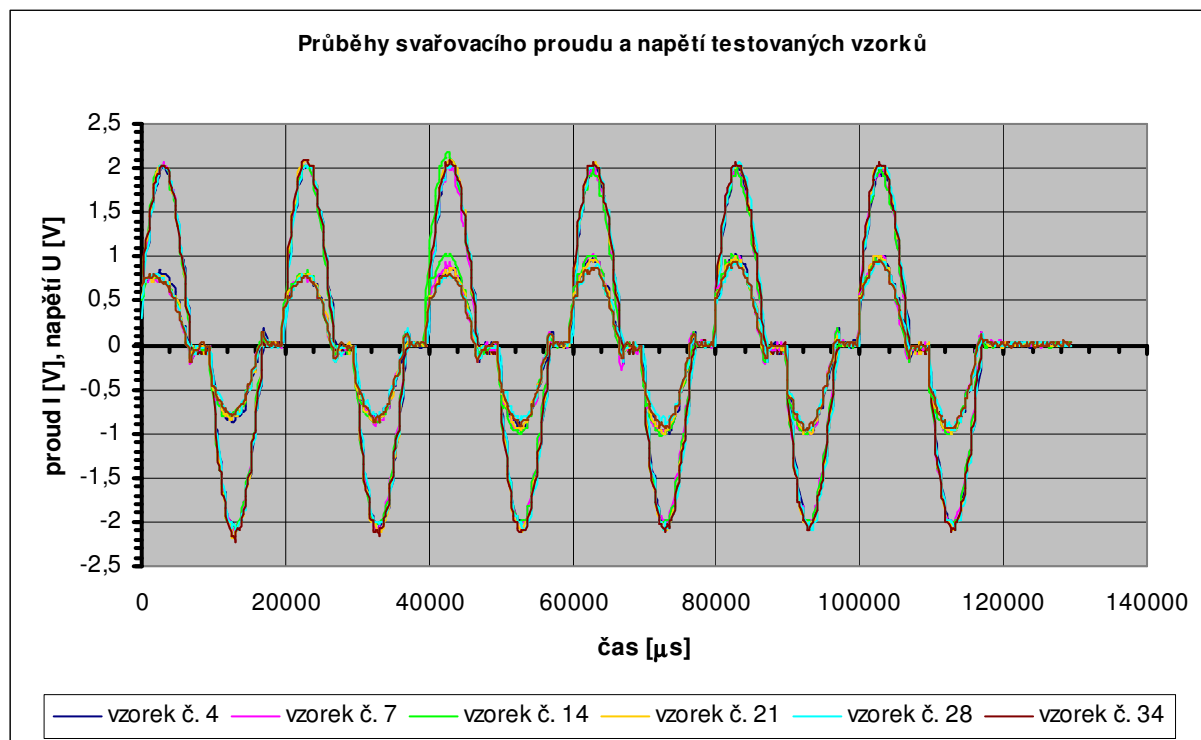
**Graf 9.3:** Průběhy napětí u vzorků č. 4, 7, 14, 21, 28, 34





Z předešlého grafu 9.3 je vidět, že se amplituda napětí v každé následující periodě zvyšuje.

**Graf 9.4:** Průběhy svařovacího proudu a napětí u vzorků č. 4, 7, 14, 21, 28, 34

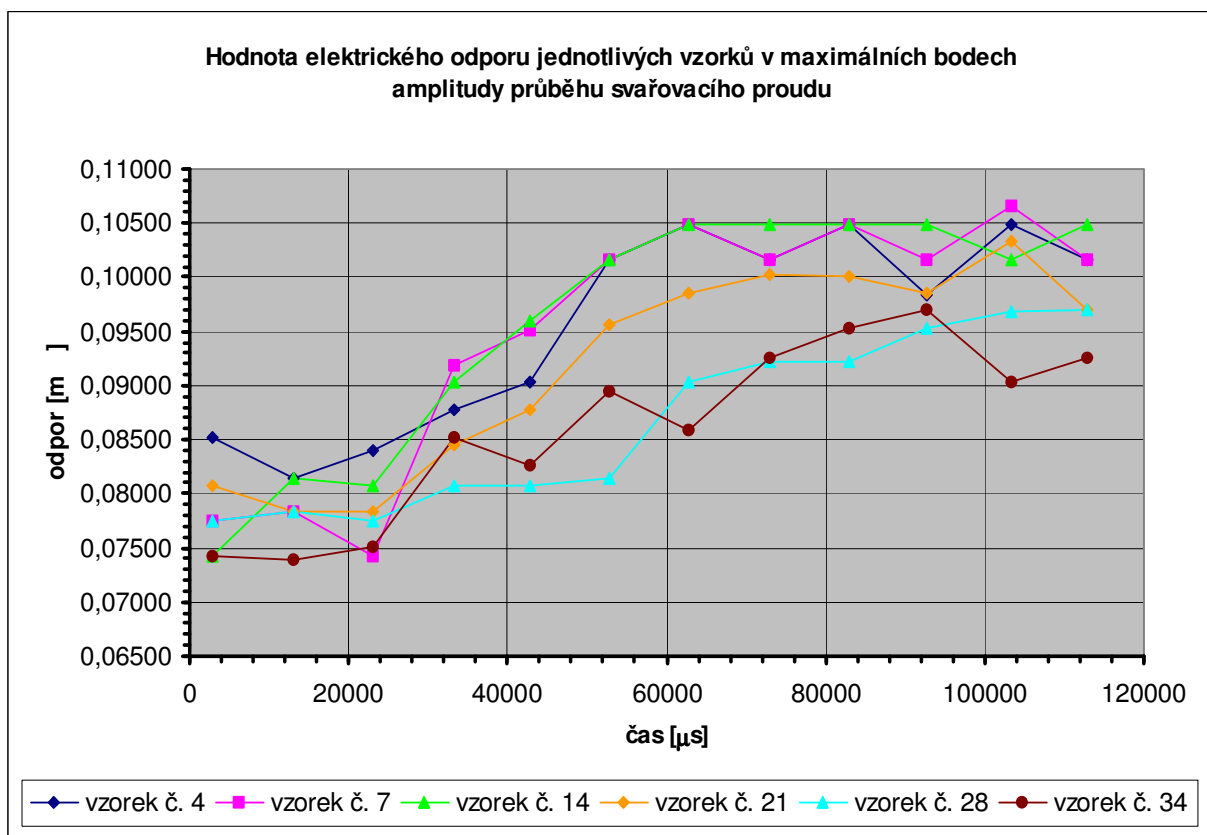


**obr. 9.1:** Vytisknuté průběhy vzorku č. 34 z MM 356

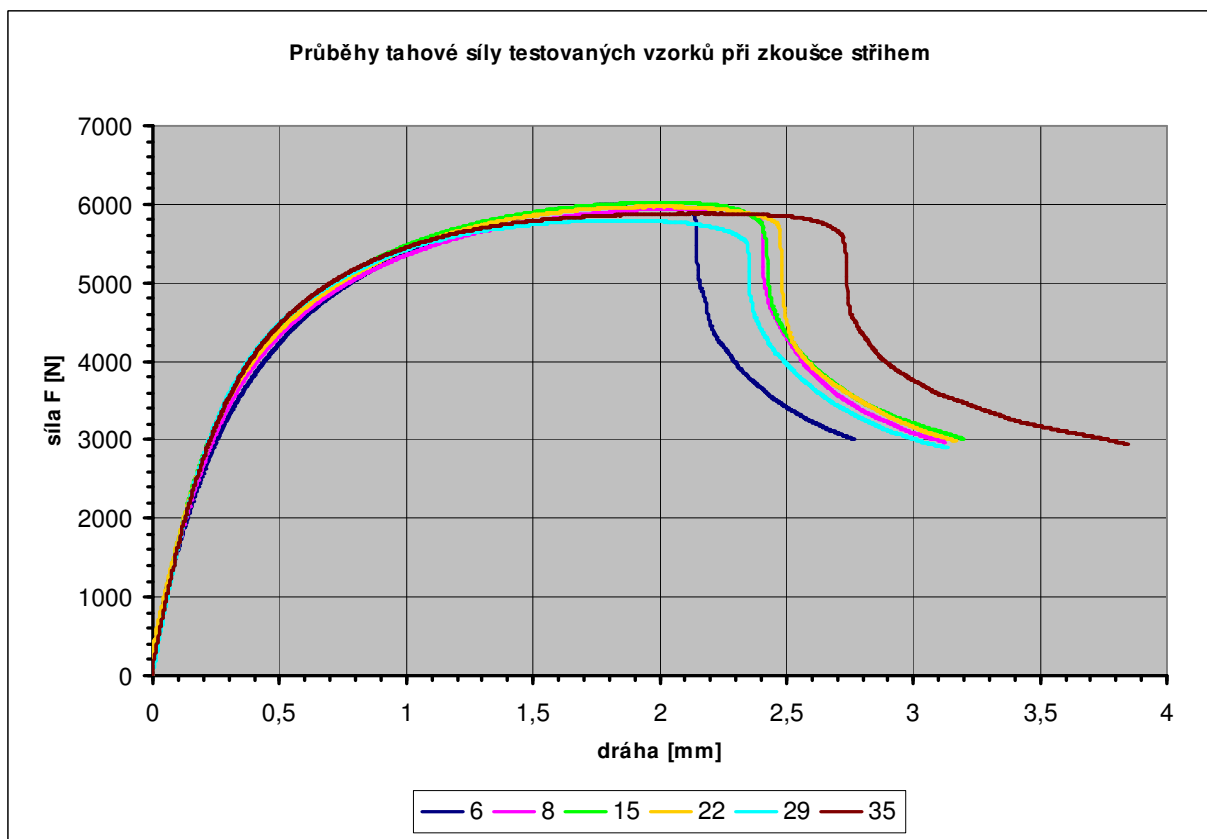
a) průběh proudu b) průběh napětí c) průběhy proudu a napětí

Porovnáním grafů (9.1, 9.3, 9.4) průběhu svařovacího proudu a napětí s vytisknutými průběhy z multifunkčního měřiče *obr. 9.1* je vidět, že následné zpracování hodnot z osciloskopu do grafů je více přehledné a poskytuje dokonalejší orientaci z měření. Velikost třech průběhů z MM 356 je v měřítku 1:1.

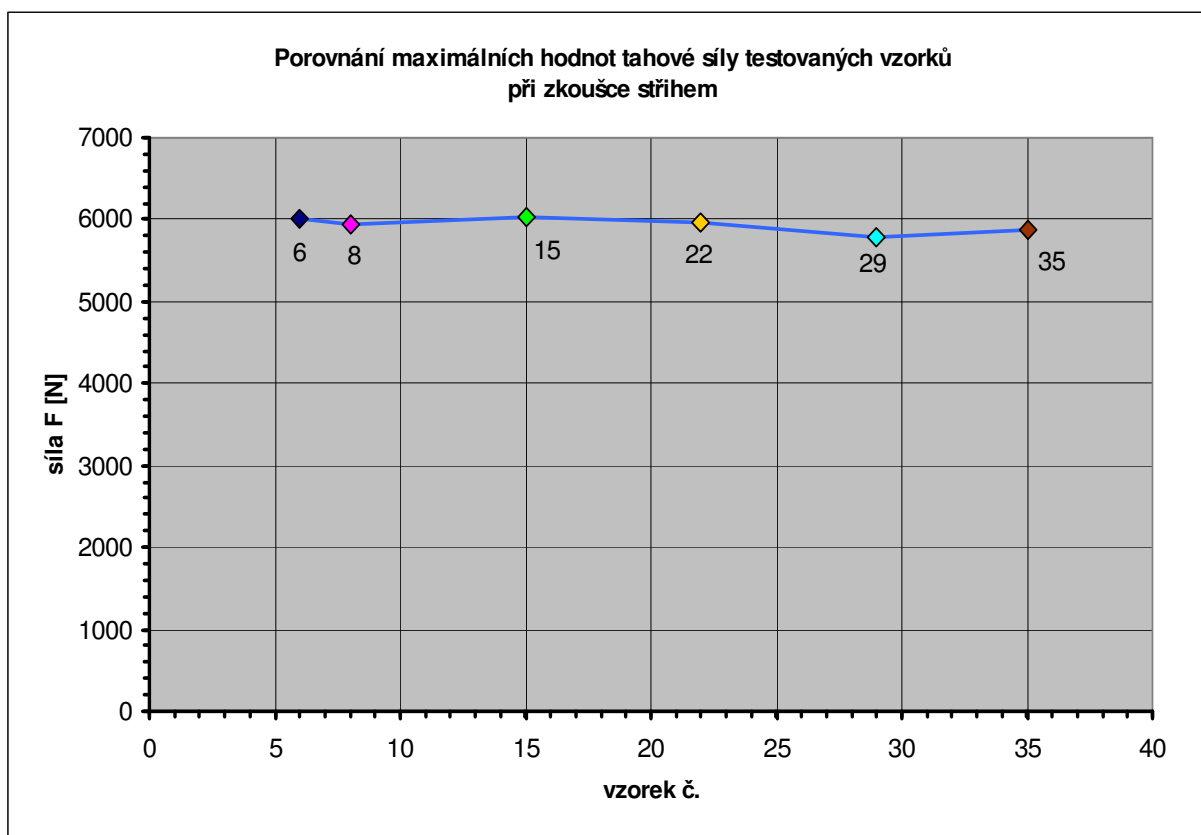
**Graf 9.5:** Hodnota elektrického odporu v maximálních bodech amplitudy u vzorků  
č. 4, 7, 14, 21, 28, 34



**Graf 9.6:** Průběhy tahové síly u zkoušky stříhem u vzorků č. 6, 8, 15, 22, 29, 35



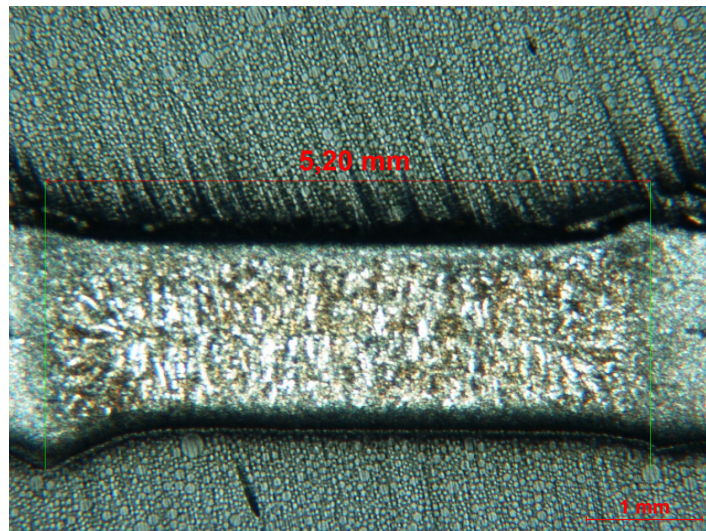
**Graf 9.7:** Porovnání maximálních hodnot tahové síly u vzorků č. 6, 8, 15, 22, 29, 35



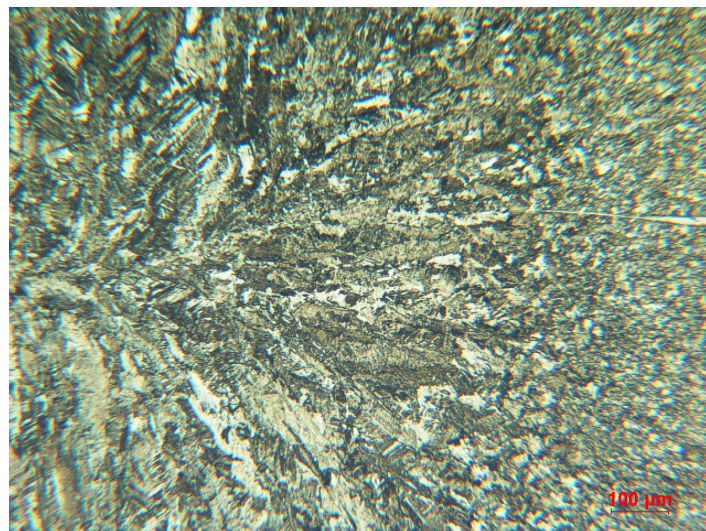
U grafů 9.6 a 9.7 jsem použil jiné vzorky, neboť z předešlých vzorků jsem vytvořil metalurgické výbrusy. Použité vzorky jsou ze stejné skupiny, jako byly předešlé vzorky. Jsou to svary hned následující, proto lze usoudit, že odchylka od testovaných bude zanedbatelná. Maximální hodnoty tahové síly všech vzorků lze vidět v příloze č. 2. Deformace vzorku po zkoušce střihem vypadá tak, že došlo k porušení ve svařovaném materiálu. To znamená, že se vzniklý svar vytrhává ze základního materiálu (viz. příloha č. 3).

## 9.1 Metalografický rozbor

Metalografický rozbor byl proveden u každého z testovaných vzorků (viz. tabulka, legenda). Metalografickému rozboru předcházelo rozdělení svaru tak, že řez byl vyosen o polovinu šířky listu pily od osy svaru. Následovalo zalití vzorků do dentakrylu, broušení, leštění a leptání v 3% roztoku Nitalu. Z důvodu vysoké tvrdosti plechů oproti měkkému dentakrylu, došlo k mírnému podbroušení na hranici dentakryl – kov. To se na fotografiích projevilo nepatrným rozostřením okrajů vzorku. Výsledek výbrusu (vzorek č. 7) lze vidět na *obr. 9.8* a *9.9*. Ostatní výbrusy jsou v příloze č. 4.



**obr. 9.8:** Svarová čočka u vzorku č. 7



**obr. 9.9:** Makro snímek u vzorku č. 7

Na obrázku 9.8 je vidět svarová čočka s otiskem špiček elektrod. Mikroskopem byl změřen průměr otisku elektrody na hodnotu 5,2 mm. Obrázek 9.9 je makro snímek struktury svarové čочки a svařovaného materiálu. Je možné pozorovat růst svarové čочки a hrubnutí zrna oproti jemné struktuře svařovaného materiálu. V jemné struktuře – ve spojení plechů je vidět hliník, který tvořil povlak plechů.

## 10. Závěr

Úkolem diplomové práce bylo monitorovat základní elektrické veličiny u odporových metod svařování. Získání průběhů svařovacího proudu a napětí při procesu svařování je velmi cenné pro rozbor a uložená data jsou cenná pro další zpracování. K získání těchto dat jsem realizoval mobilní monitorovací zařízení, které umožňuje měření svařovacího proudu a napětí.

Katedra strojírenské technologie, oddělení strojírenské metalurgie disponovala starším měřicím zařízením pro odečet procesních veličin, proto první řešení vycházelo z principu tohoto zařízení. Především měřicí zařízení ETC-M221 je zapojeno do ISA slotu stolního počítače a je čtyř-kanálové. Nové moderní zařízení ETC-M524 je plně mobilní a je propojeno s přenosným počítačem, ale obsahuje pouze dva kanály pro měření. Při zachování principu měření starým zařízením nastal problém s nedostatkem jednoho chybějícího měřicího kanálu. Tento nedostatek jsem řešil polovodičovou součástkou v integrovaném obvodu, operačním zesilovačem LM741. Nejdříve jsem simuloval daný problém pomocí softwaru, a protože vše fungovalo, začal jsem tyto výsledky realizovat. Bohužel v praxi bylo vše jinak a předpokládaný výsledek se nepotvrdil.

V dalším postupu řešení jsem vyloučil použití přídavného zařízení, které by upravilo signály tak, aby ve výsledku nescházel měřicí kanál osciloskopu. Chtěl jsem maximálně využít schopnosti všech prvků podílejících se na měření procesních veličin. Podrobně jsem prozkoumal princip nových sond dodaných k osciloskopu a zkusil je připojit na elektrody a rovnou do osciloskopu. Svařovací napětí se změřit povedlo, avšak nastal problém s měřením proudu. Proud je převeden pomocí cívky na indukované napětí. Cívka v podobě nerozebíratelné objímky poskytovala kvalitní informace o proudu, ale její umístění na jinou odporovou svářečku postupem demontáže ramena elektrody bylo nepřípustné.

Konečné řešení pro odečet svařovacího proudu a napětí jsem použil přístroj Miyachi MM-356, který bohužel nelze přímo propojit s dnešním přenosným počítačem. Absence rozhraní RS-232 u moderních počítačů je zcela normální, a tak jsem signál získal propojením sond k jednotlivým kontaktům I/O zásuvky k osciloskopu. Zobrazená data v podobě sinusových průběhů jsem následně exportoval přes rozhraní USB do počítače jako textový soubor. Použitím všech tří zařízení, měřiče MM-356, osciloskopu M524 a notebooku jsem dostal vyhovující měřicí soustavu s rychlou zálohou naměřených dat a kvalitním zobrazením průběhů přes LCD obrazovku přenosného počítače.

Uložená data z měření jsem otevřel v tabulkovém programu a následně je zpracoval do grafů. Výsledek průběhů byl zcela shodný se zobrazovanými průběhy během měření. Svařovací proud je udáván ve voltech, proto jsem stanovil přepočtový koeficient, který po použití stanoví průběh v kiloampérech.

Po všech etapách měření a zpracování dat je tato soustava zařízení připravena bezproblémově měřit v provozních podmínkách.

## 11. Seznam použité literatury

- [1] PLUHAŘ, J.; a kolektiv.: Nauka o materiálu. 1. vyd. Praha : SNTL, 1989. 552 s. ISBN 04-205-89.
- [2] PLÍVA, L.: Svařování betonářských ocelí. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975. 268 s. ISBN 04-219-75.
- [3] PLÍVA, L.: Odporové svařování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975.
- [4] NEUMANN, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohlínkovaných ocelových plechů. [Disertační práce]. Liberec : TU, 1990.
- [5] CHVOJKA, O.: Analýza procesních veličin u odporového bodového svařování. [Bakalářská práce]. Liberec : TU, 2005. 89 s. příl. TU Liberec – fakulta strojní.
- [6] SHRIVER, J.; LI, W.: Statistical Investigation on Resistance Spot Welding Quality Using a Two-State, Sliding-Level Experiment. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2001, vol. 123, p. 513 – 520.
- [7] TANG, H.; HOU W.: Forging force in resistance spot welding. Engineering manufacture, 2002, vol. 216, part B, p. 957 – 968.
- [8] Miller Electric Mfg. Co., 2005, Handbook for Resistance Spot Welding.
- [9] PACÁK, J.: Bodové odporové svařování vysokopevnostních plechů a automobilovém průmyslu. [Diplomová práce]. Liberec : TU, 2007. 84 s. příl. TU Liberec – fakulta strojní.
- [10] ADAMOWSKI, J.; POGGIO, S.: Resistance spot welding of advanced high strength steel DP600 [USB disk]. Università degli Studi di Genova – Facoltà di Ingegneria, 2006 [cit. 22. April 2008]. Dostupné na World Wide Web : <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/LINK/45.pdf>
- [11] Forming Technologies Inc., 2003, Resistance spot welding.
- [12] TMĚJ, J.; NEUMANN, H.: Teorie svařování. Liberec : VŠST, 1990. ISBN 80-7083-010-7.
- [13] ANB, Kolektiv autorů.: Technologie svařování a zařízení. Ostrava : srpen 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [14] J.C.Tan, S.A.Westgate and T.W.Clyne.: Resistance Welding of Thin Stainless Steel Sandwich Sheets with Fibrous Metallic Cores: Experimental and Numerical Studies. Science and Technology of Welding and Joining, 2007, vol.12, no.6, p. 490-504.

- [15] Kuncipál, J. a kol.: Teorie svařování. Praha : SNTL, 1986.
- [16] ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování
- [17] ČSN EN ISO 14610 Svařování a příbuzné procesy – Definice metod svařování kovů.
- [18] ČSN EN ISO 14329 Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů.
- [19] ČSN EN ISO 17653 Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška krutem odporových bodových svarů.
- [20] ČSN EN ISO 14272 Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů.
- [21] ČSN EN ISO 14273 Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů.
- [22] ČSN EN ISO 14270 Rozměry vzorků a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových svarů.
- [23] ČSN ISO 10447 Zváranie. Odlupovacie a sekáčové skúšanie odporových bodových, výstupkových a švových zvarov.
- [24] ÁBEL, M; VIŇÁŠ, J.: Hodnotenie vplyvu zváracích parametrov na životnosť zváracích špičiek. In: Acta Mechanica Slovaca. roč. 10, č. 4-a povrchové inžinierstvo 2006 (2006), s. 7-12. ISSN 1335-2393.
- [25] Amsterdam Technology bv, 2006 [cit. 15. January 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.tsisystem.cz/novinky/071102/mini-scanner>
- [26] ETC, [cit. 12 January 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.etc.sk/products/m520/index.php?lang=svk#mlab3>
- [27] PUNČOCHÁŘ, J.: Operační zesilovače v elektronice. 1. vyd. Praha : BEN, 1996. ISBN 80-901984-3-0.
- [28] WESTGATE, S.: TWI Knowledge Summary. Seam welding [cit. 20. November 2007]. Dostupné na World Wide Web: [http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band\\_3/kssaw005.html](http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/kssaw005.html)
- [29] WESTGATE, S.: TWI Knowledge Summary. Projection welding [cit. 20. November 2007]. Dostupné na World Wide Web: [http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band\\_3/kssaw004.html](http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/kssaw004.html)



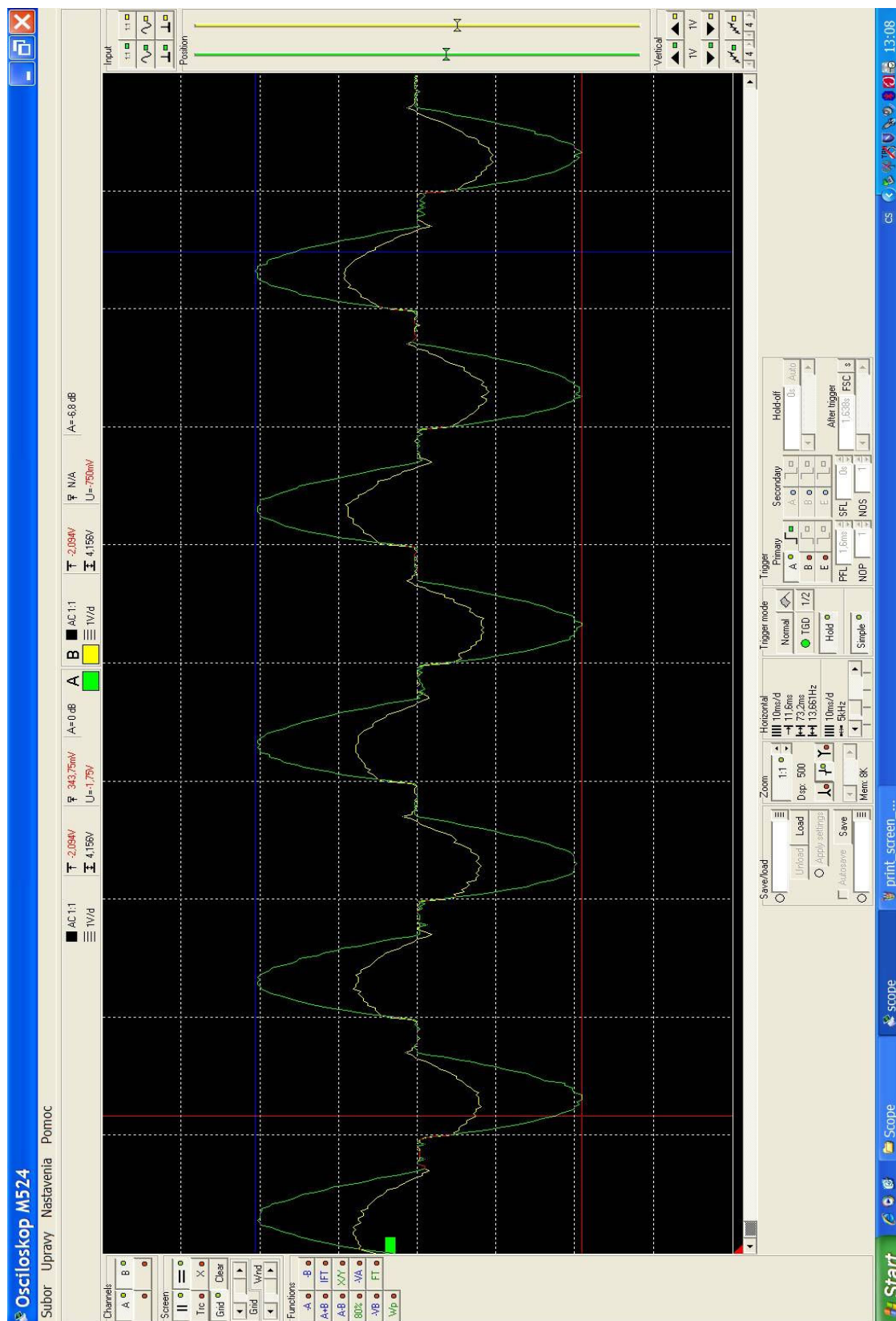
- [30] WESTGATE, S.: TWI Knowledge Summary. Flash welding [cit. 20. November 2007]. Dostupné na World Wide Web:  
[http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band\\_3/kssaw006.html](http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/kssaw006.html)
- [31] New Southern Resistance Welding, Inc., [cit. 16. May 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.nsrw.com>

## Seznam příloh:

- Příloha č. 1 Nastavení ovládacího programu osciloskopu ETC-M524 s průběhem svařovacího proudu a napětí.
- Příloha č. 2 Výsledky tahových sil u zkoušky stříhem provedené u všech vzorků.
- Příloha č. 3 Nárys, pravý a levý bokorys vzorku č. 23 po zkoušce stříhem, maximální síla v tahu  $F = 5977,8$  [N].
- Příloha č. 4 Metalografické rozborý vzorků č. 4, 14, 21, 28, 34 v měřítku 1 mm a 100  $\mu\text{m}$ .
- Příloha č. 5 Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 55. svaru.
- Příloha č. 6 Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 103. svaru.
- Příloha č. 7 Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 204. svaru.
- Příloha č. 8 Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 301. svaru.
- Příloha č. 9 Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 401. svaru.
- Příloha č. 10 Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 501. svaru.
- Příloha č. 11 Spojení obrázku a grafu průběhu proudu a napětí vzorku č. 10.

## Příloha č. 1

## Nastavení ovládacího programu osciloskopu ETC-M524 s průběhem svařovacího proudu a napětí



**obr.:** Nastavení ovládacího programu osciloskopu ETC-M524

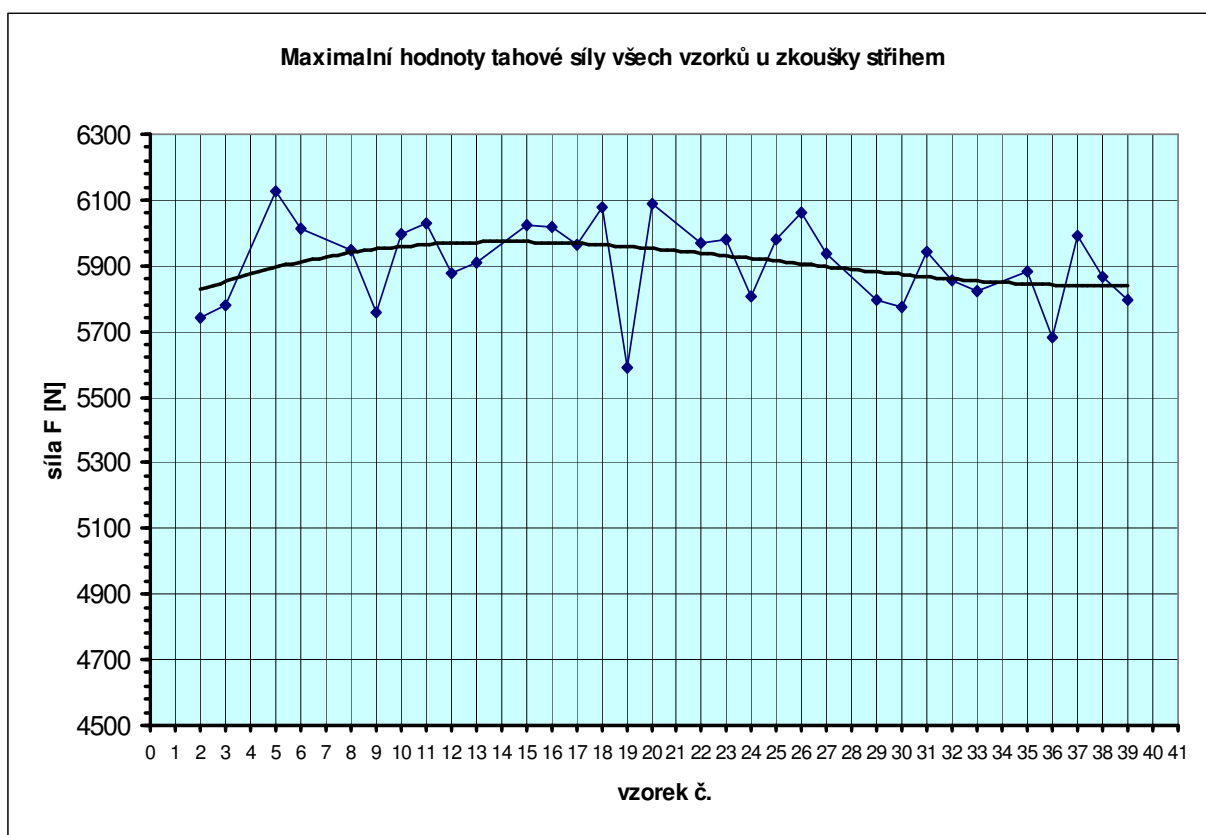
## Příloha č. 2

Výsledky tahových sil u zkoušky stříhem provedené u všech vzorků.

**Tab.:** Maximální hodnoty síly vzorků u zkoušky stříhem

vzorek č. [-]	2	3	5	6	8	9	10	11	12	13
síla F [N]	5740,6	5777	6126,4	6013,7	5946,2	5756,3	5994,7	6029	5875	5908,7
vzorek č. [-]	15	16	17	18	19	20	22	23	24	25
síla F [N]	6023	6019,7	5963,1	6076,9	5592	6091	5969,7	5977,8	5805,8	5981,6
vzorek č. [-]	26	27	29	30	31	32	33	35	36	37
síla F [N]	6060,5	5934,3	5795,5	5771,5	5943	5855,9	5822,2	5884,7	5682,3	5992,5
vzorek č. [-]	38	39								
síla F [N]	5865,7	5795,5								

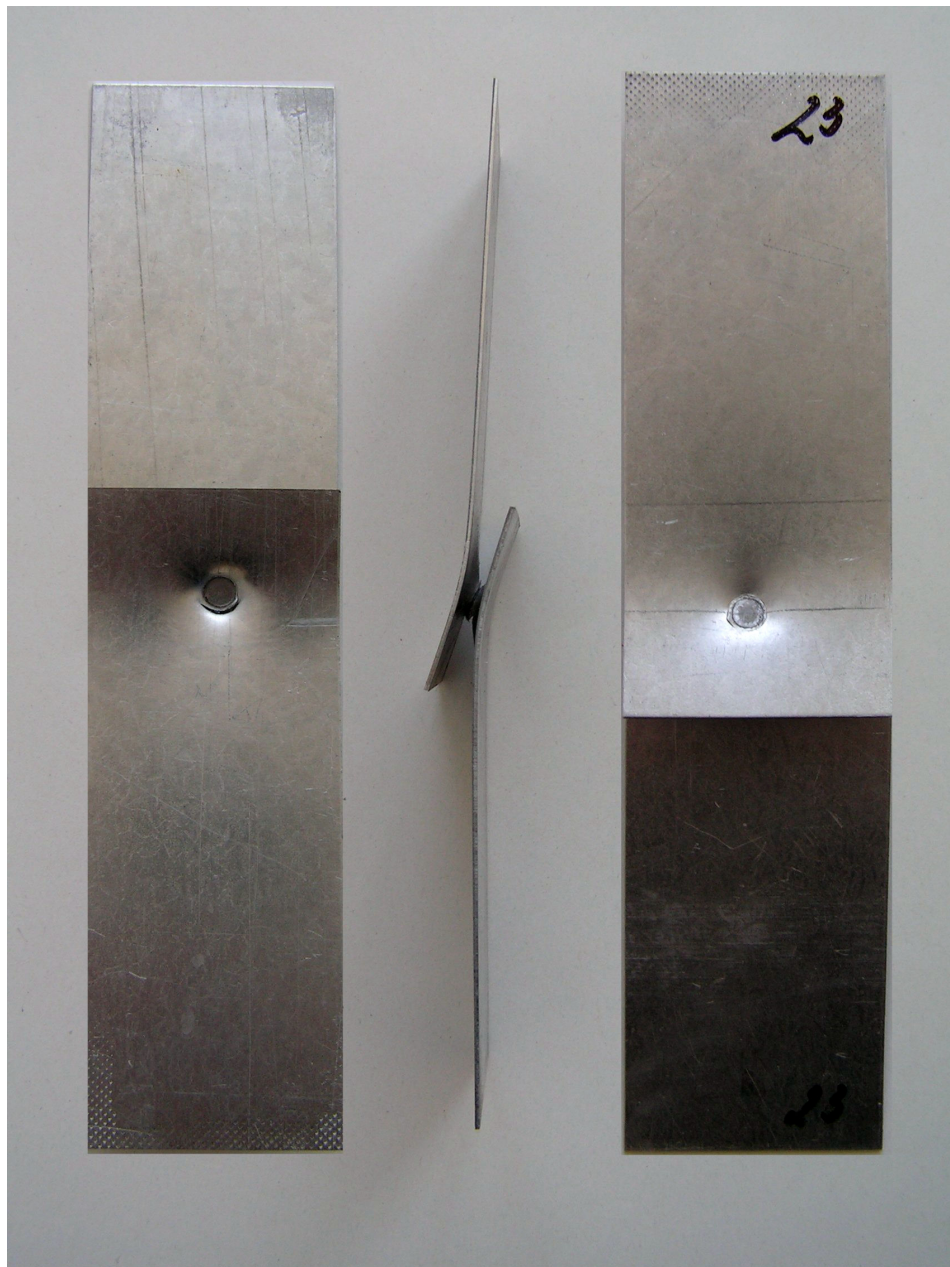
**Graf:** Průběh maximálních hodnot síly vzorků u zkoušky stříhem



### Příloha č. 3

Nárys, pravý a levý bokorys vzorku č. 23 po zkoušce stříhem, maximální síla v tahu

$$F = 5977,8 \text{ [N]}$$

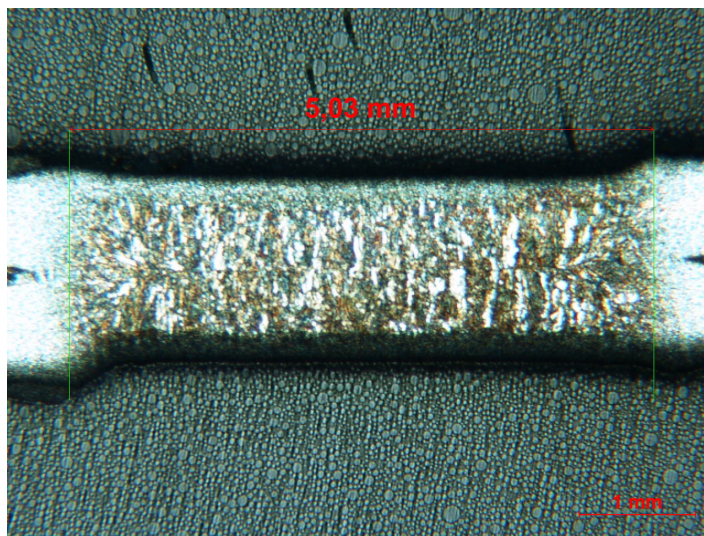


**obr.:** Nárys, pravý a levý bokorys vzorku č. 23 po zkoušce stříhem

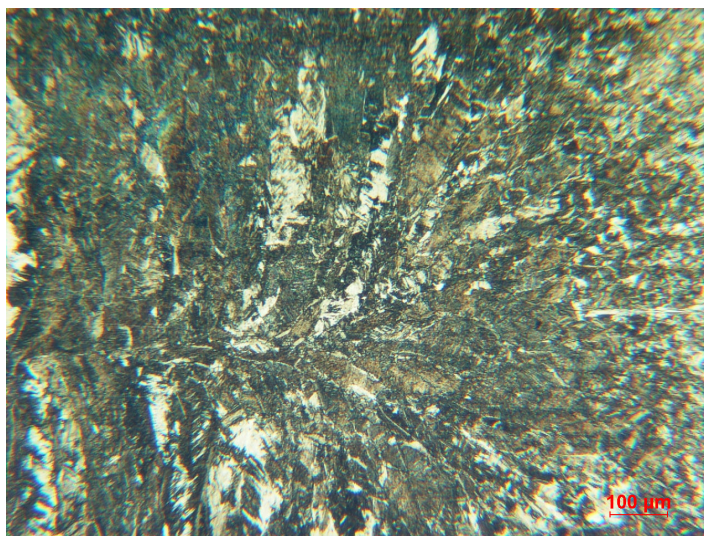


#### Příloha č. 4

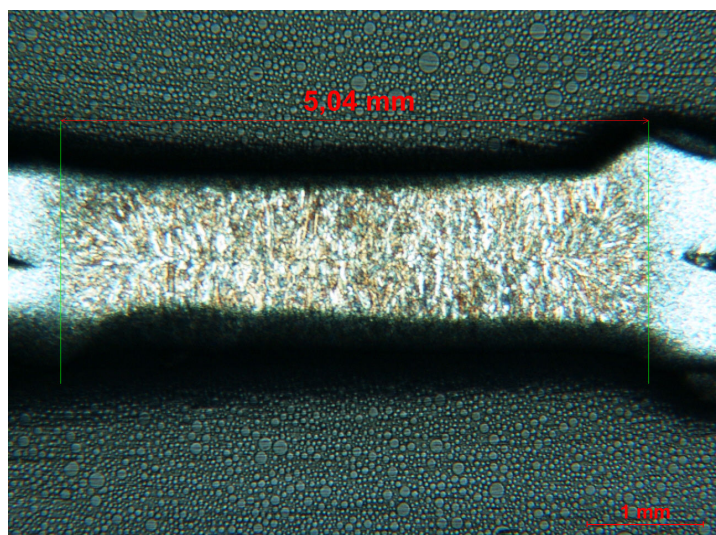
Metalografické rozbory vzorků č. 4, 14, 21, 28, 34 v měřítku 1 mm a 100  $\mu\text{m}$



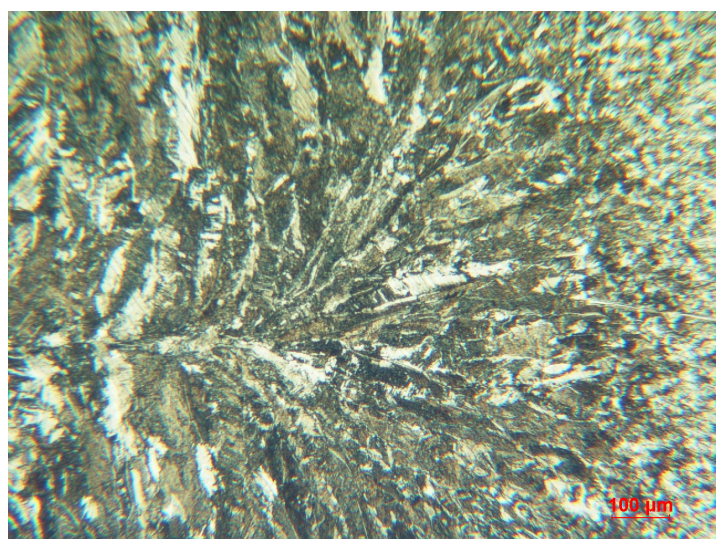
**obr.:** Snímek vzorku č. 4, průměr otisku elektrody 5,03 mm



**obr.:** Makro vzorku č. 4

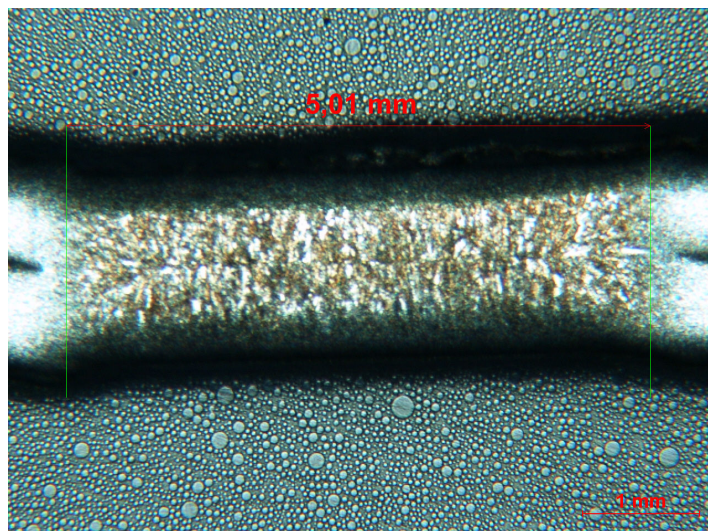


**obr.:** Snímek vzorku č. 14, průměr otisku elektrody 5,04 mm

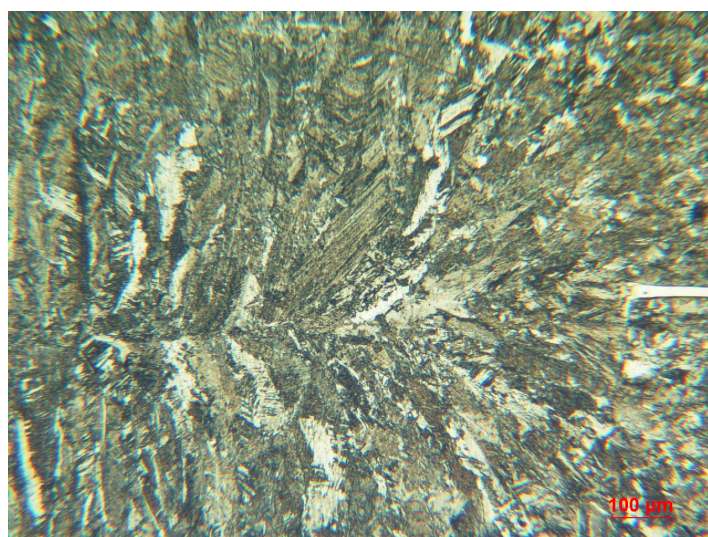


**obr.:** Makro vzorku č. 14



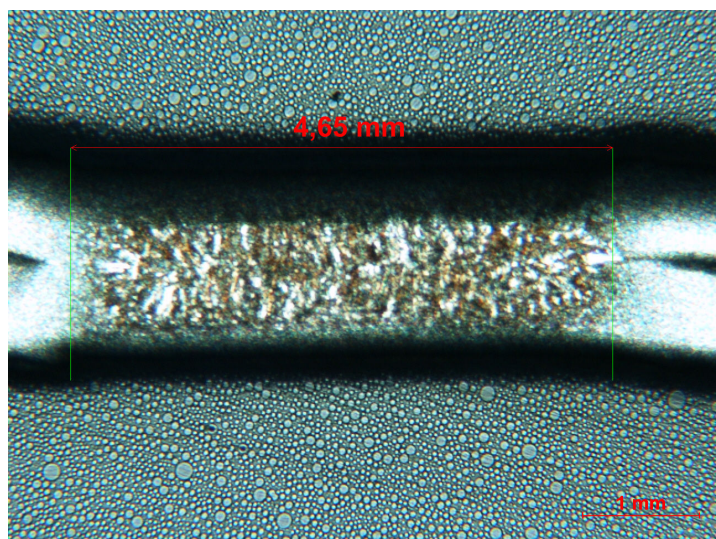


**obr.:** Snímek vzorku č. 21, průměr otisku elektrody 5,01 mm

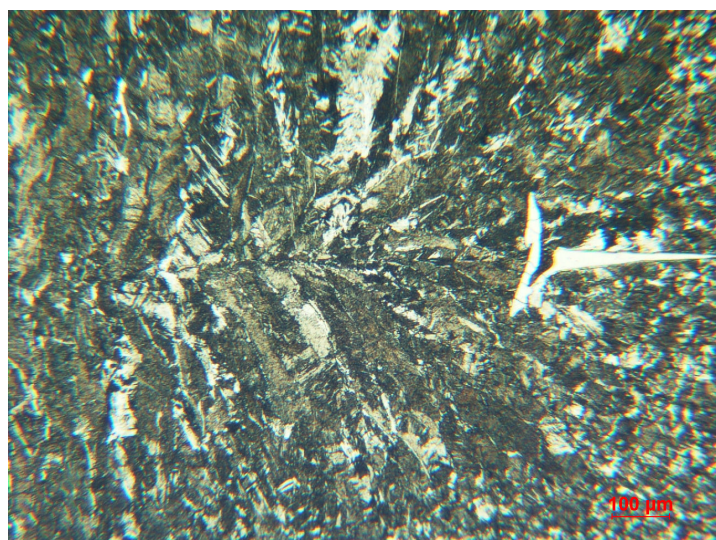


**obr.:** Makro vzorku č. 21

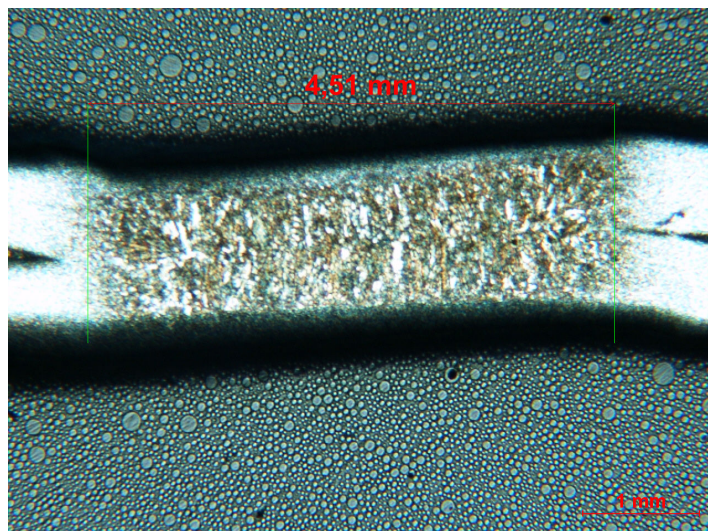




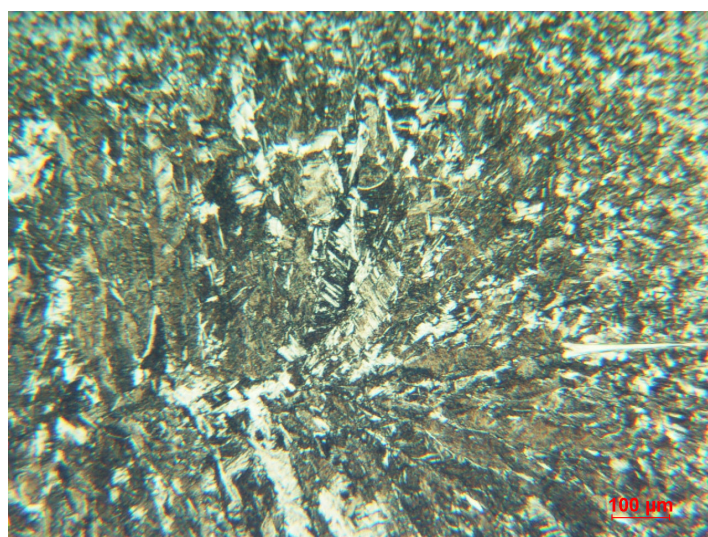
**obr.:** Snímek vzorku č. 28, průměr otisku elektrody 4,65 mm



**obr.:** Makro vzorku č. 28



**obr.:** Snímek vzorku č. 34, průměr otisku elektrody 4,51 mm

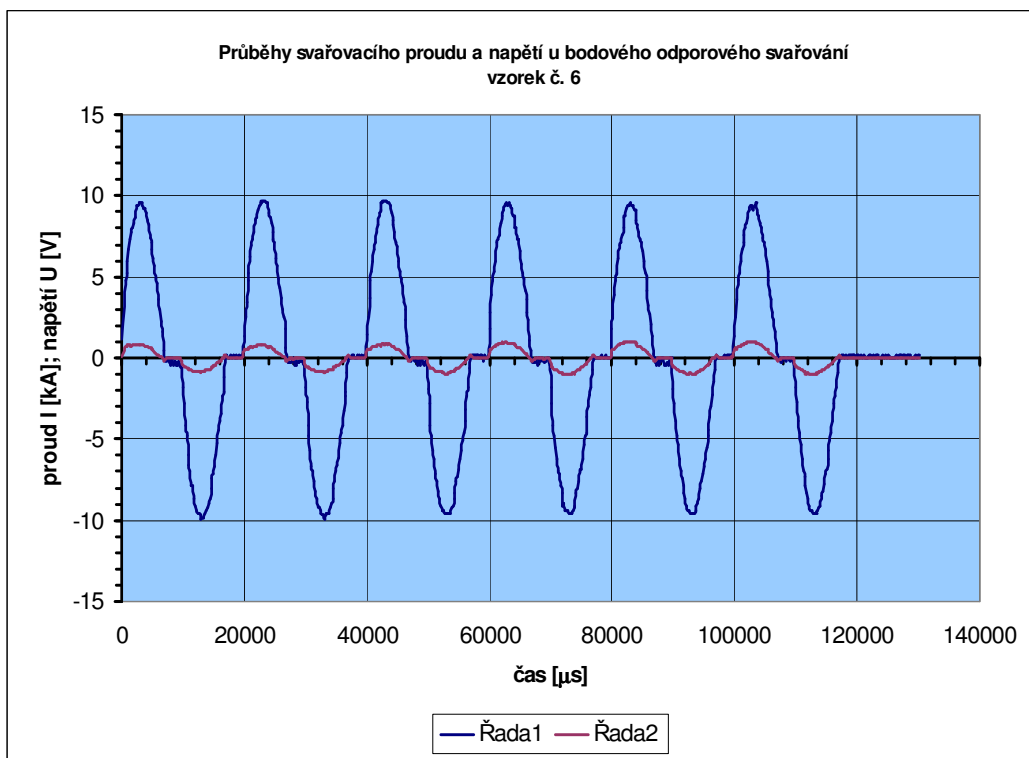


**obr.:** Makro vzorku č. 34

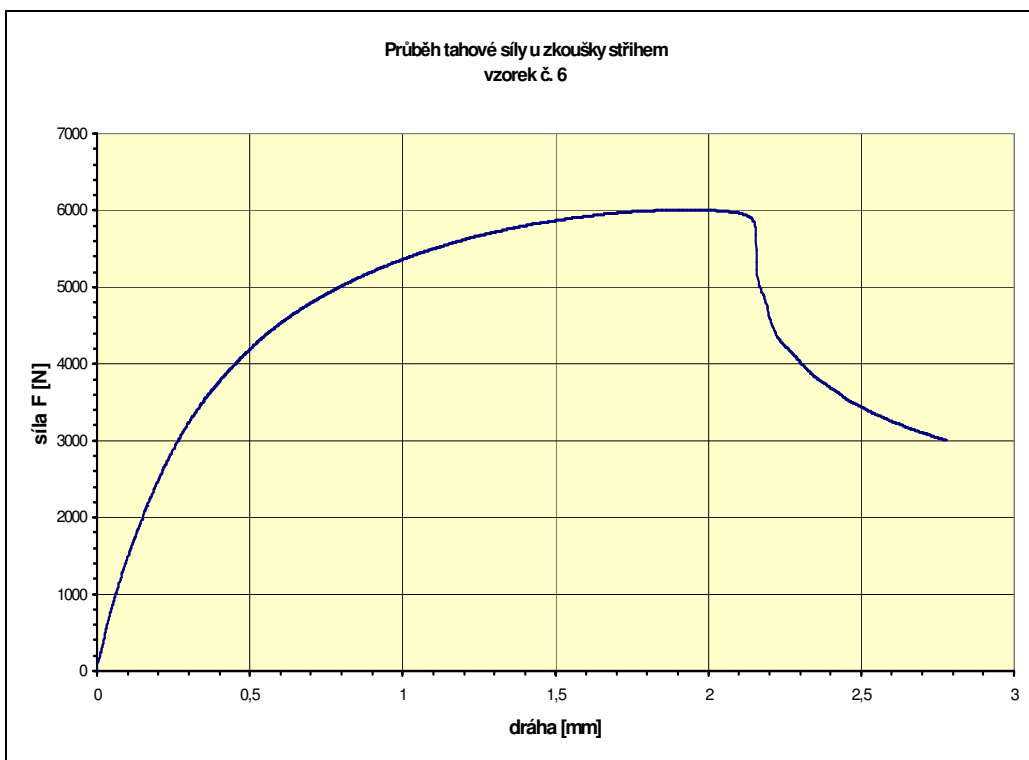
## Příloha č. 5

Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 55. svaru

**Graf:** Průběh svařovacího proudu a napětí u vzorku č. 6



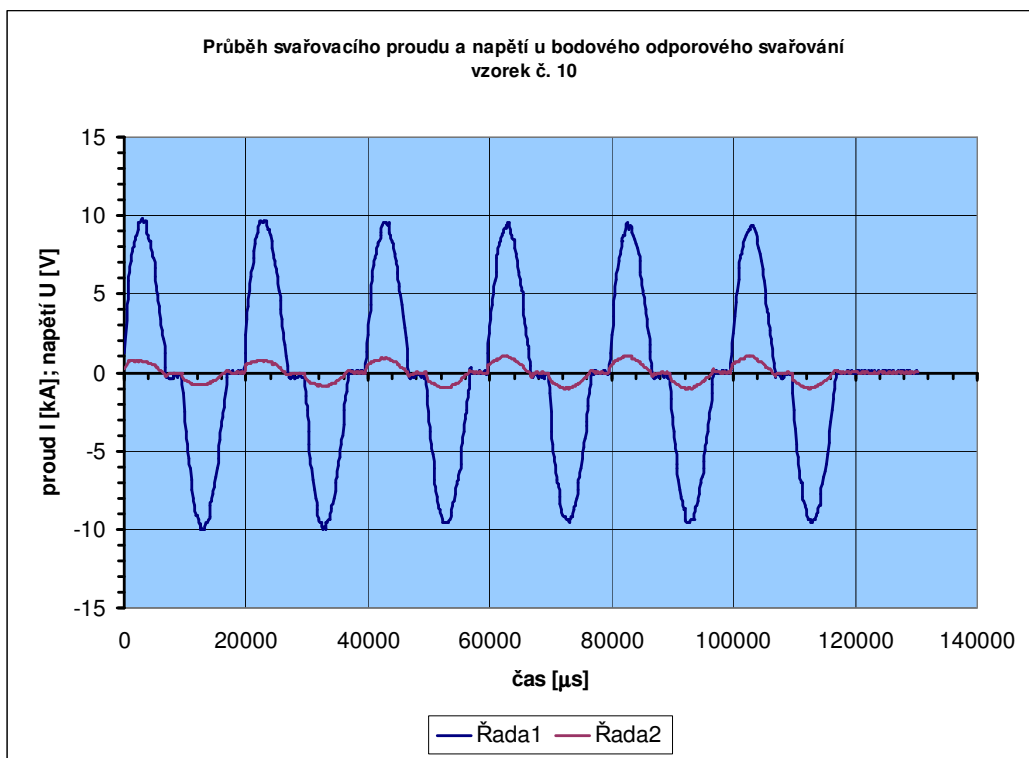
**Graf:** Průběh tahové síly u zkoušky stříhem u vzorku č. 6



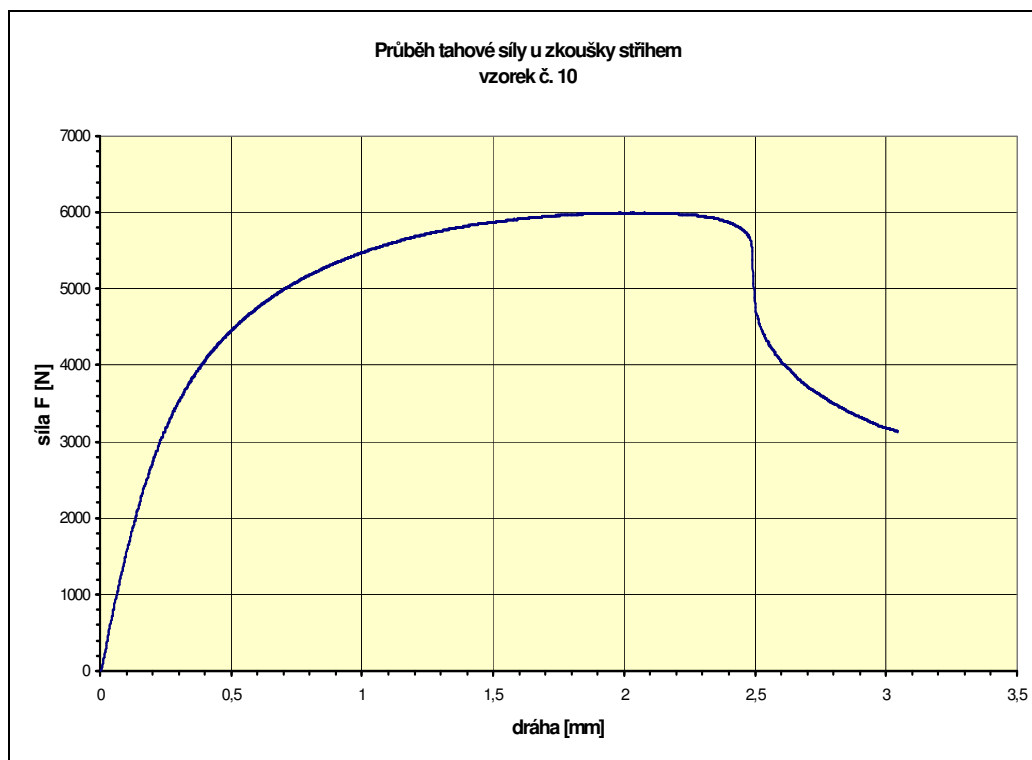
## Příloha č. 6

Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 103. svaru

**Graf:** Průběh svařovacího proudu a napětí u vzorku č. 10



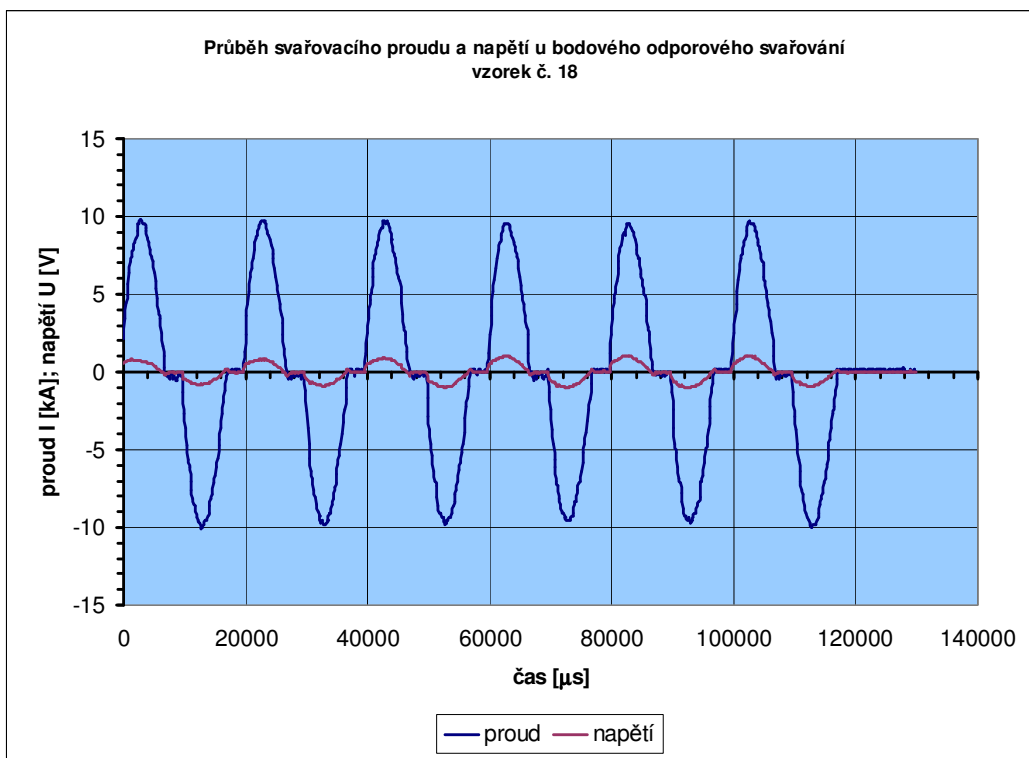
**Graf:** Průběh tahové síly u zkoušky stříhem u vzorku č. 10



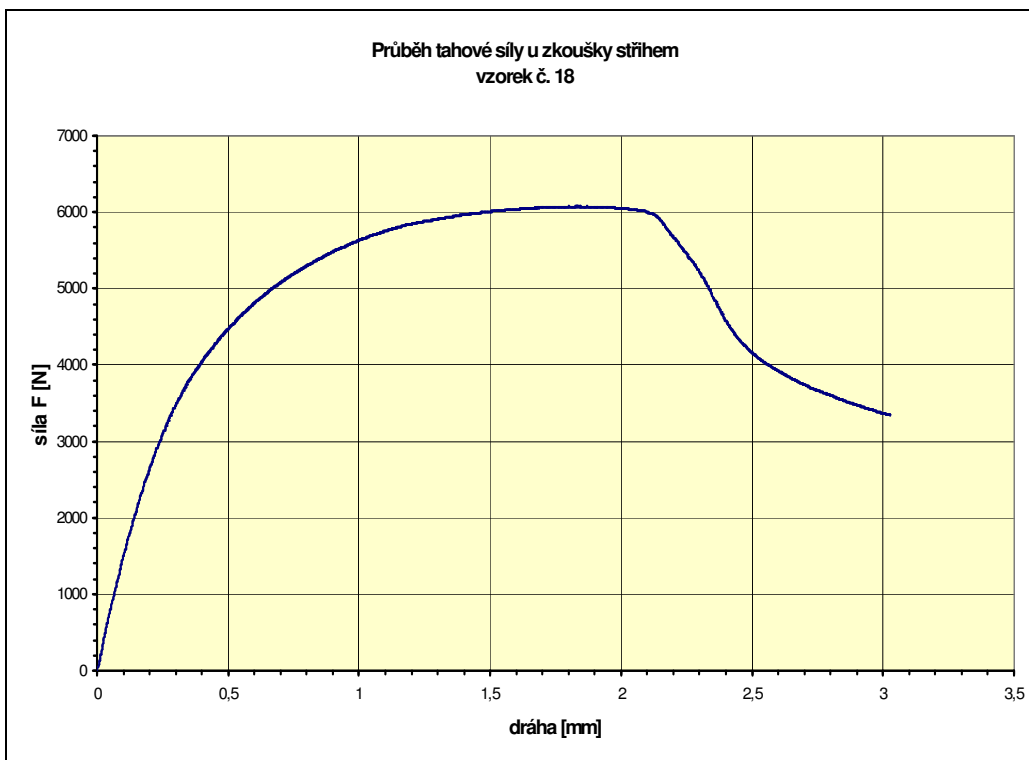
## Příloha č. 7

Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 204. svaru

**Graf:** Průběh svařovacího proudu a napětí u vzorku č. 18



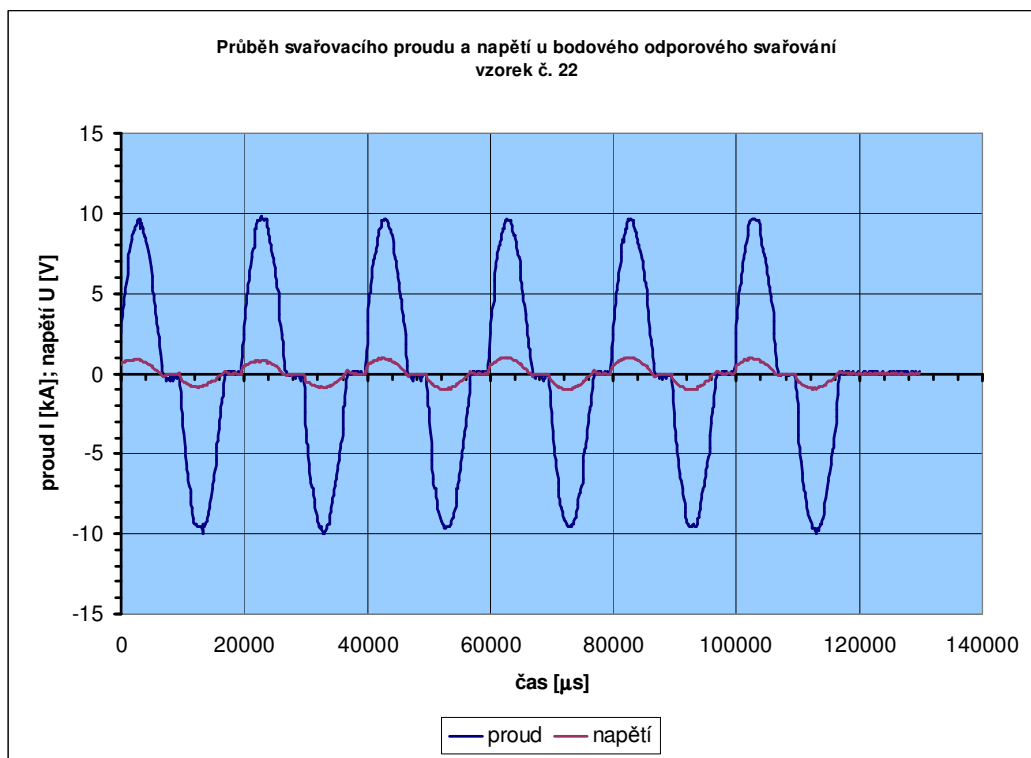
**Graf:** Průběh tahové síly u zkoušky stříhem u vzorku č. 18



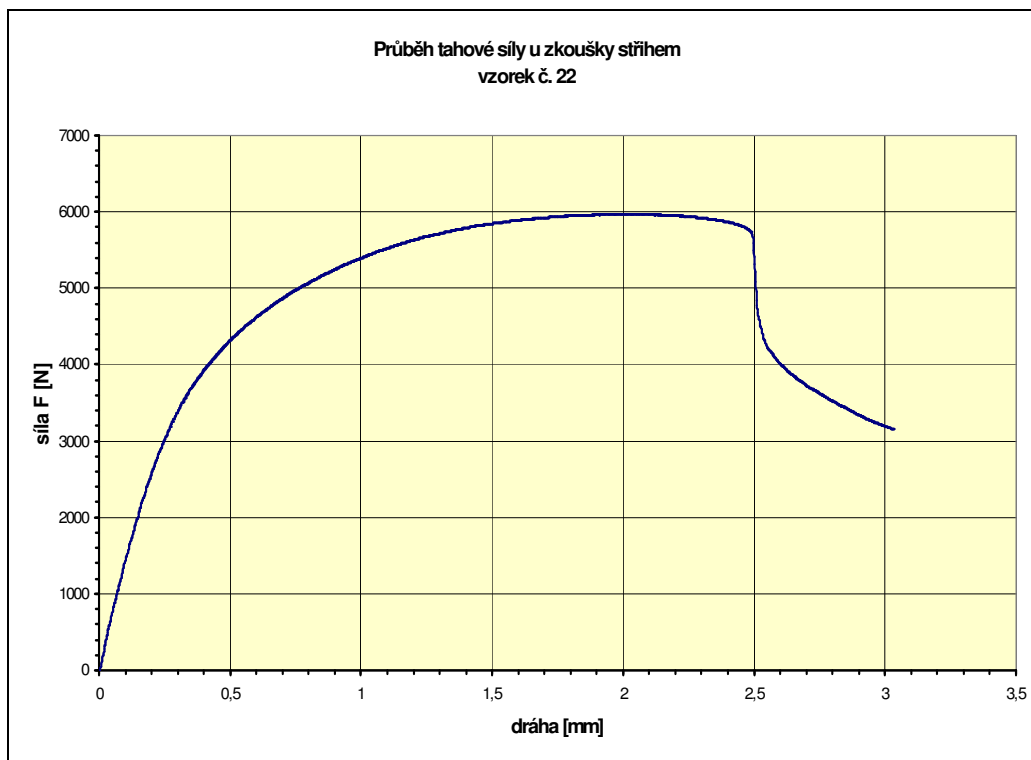
## Příloha č. 8

Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 301. svaru

**Graf:** Průběh svařovacího proudu a napětí u vzorku č. 22



**Graf:** Průběh tahové síly u zkoušky stříhem u vzorku č. 22

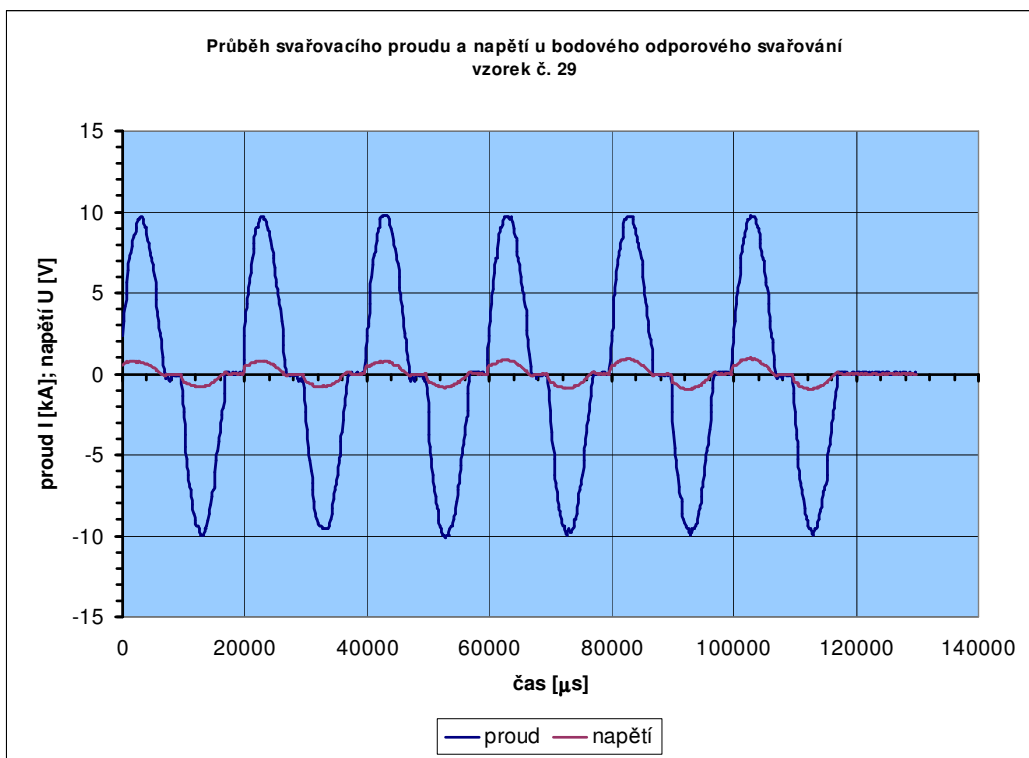




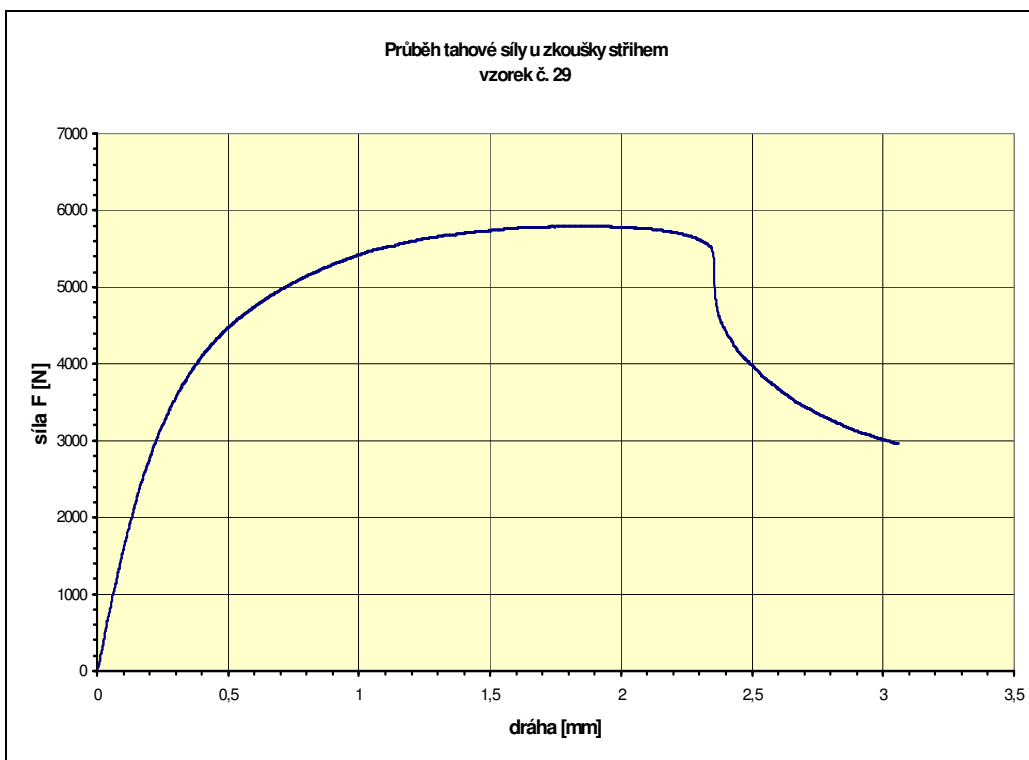
## Příloha č. 9

Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 401. svaru

**Graf:** Průběh svařovacího proudu a napětí u vzorku č. 29



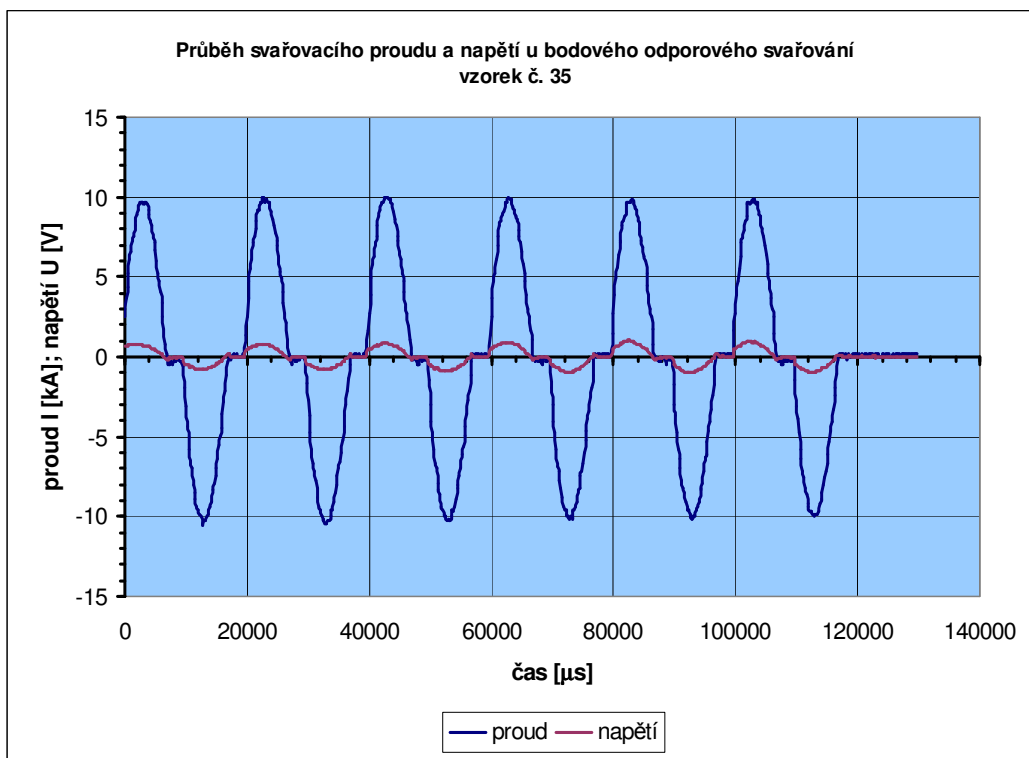
**Graf:** Průběh tahové síly u zkoušky stříhem u vzorku č. 29



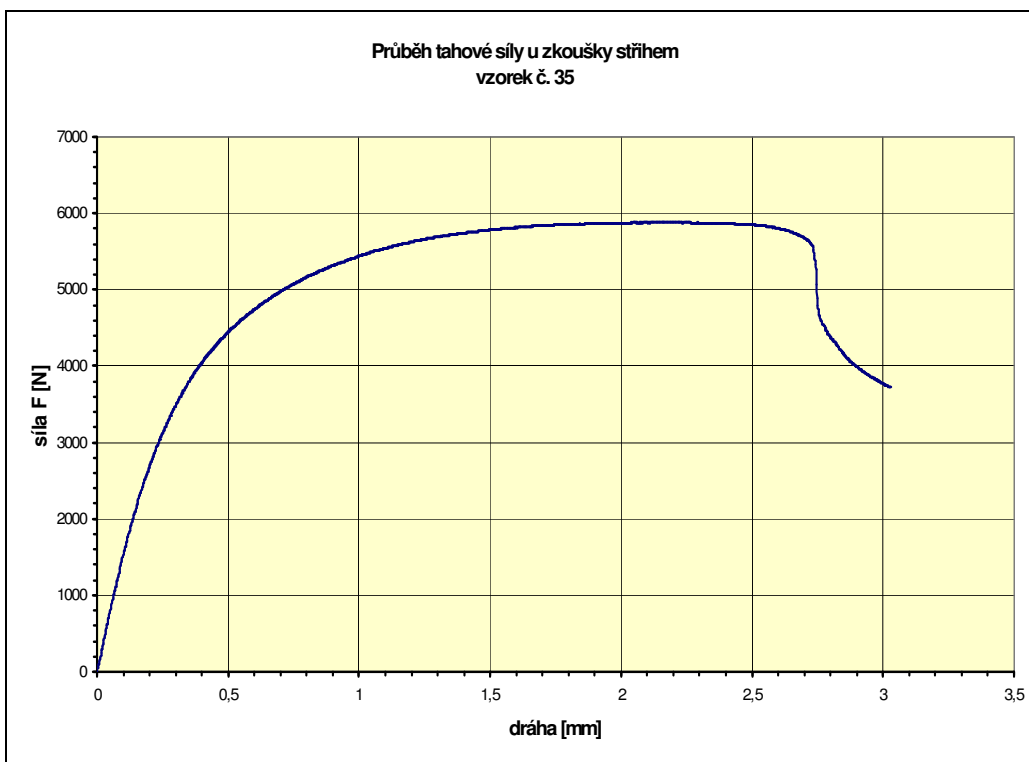
## Příloha č. 10

Průběh svařovacího proudu v [kA], napětí ve [V] a zkouškou stříhem u 501. svaru

**Graf:** Průběh svařovacího proudu a napětí u vzorku č. 35



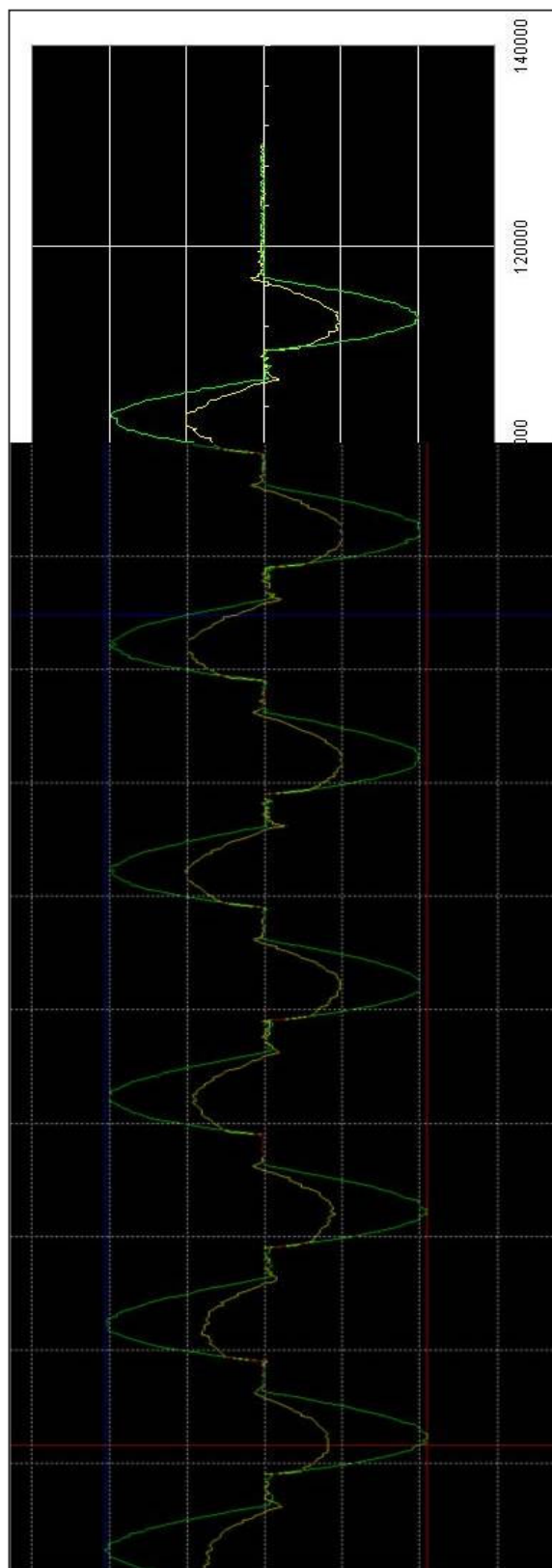
**Graf:** Průběh tahové síly u zkoušky stříhem u vzorku č. 35





## Příloha č. 11

Spojení obrázku a grafu průběhu proudu a napětí vzorku č. 10



**obr.:** Dokreslení poslední periody průběhů grafem

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 19. května 2008

Podpis: .....

### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 19. května 2008

Signature: .....